

Г. А. ПОЛЯКОВ

ПРИМЕНЕНИЕ ГРОМКОГОВОРИТЕЛЕЙ И ТЕЛЕФОНОВ

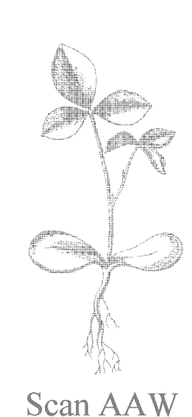
· ЭНЕРГИЯ ·

МАССОВАЯ
РАДИОБИБЛИОТЕКА

Выпуск 829

Г. А. ПОЛЯКОВ

ПРИМЕНЕНИЕ ГРОМКОГОВОРИТЕЛЕЙ И ТЕЛЕФОНОВ





«ЭНЕРГИЯ»
МОСКВА 1973

6Ф2.7
П 54
УДК 621.395.623

Поляков Г. А.

П 54 Применение громкоговорителей и телефонов. М., «Энергия», 1973.

72 с. с ил. (Массовая радиобиблиотека. Вып. 829).

Излагаются краткие сведения из электроакустики, поясняющие физические явления, сопровождающие работу преобразователей — излучателей звука различных систем.

Приводятся подробные данные об основных параметрах и характеристиках современных громкоговорителей и телефонов и даются рекомендации по их выбору и применению в радиоэлектронной аппаратуре.

Книга рассчитана на широкий круг конструкторов радиоаппаратуры, не имеющих специальной подготовки по электроакустике, и радиолюбителей, кроме того, она может быть полезной студентам радиотехнических специальностей.

$П\frac{0345\text{-}114}{051(01)\text{-}73}$ 271-73 6Ф2.7

ГЕНРИХ АЛЕКСАНДРОВИЧ ПОЛЯКОВ

Применение громкоговорителей и телефонов

Редактор Ю. А. Индлин
Редактор издательства В. А. Абрамов
Обложка художника Н. Т. Ярешко
Технический редактор Н. А. Галанчева
Корректор Г. Г. Желтова

Сдано в набор 29/VIII 1972 г. Подписано к печати 7/III 1973 г. Т-04712
Формат 84×108[1]/32 Бумага типографская № 3 Усл. печ. л. 3,78
Уч.-изд. л. 4,72 Тираж 40 000 экз. Зак. 1320 Цена 20 коп.

Издательство «Энергия». Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10.

Московская типография № 10 Союзполиграфпрома
при Государственном комитете Совета Министров СССР
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.
Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Громкоговорители и телефоны являются электроакустическими преобразователями — излучателями звука. Как выходные элементы радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) громкоговорители и телефоны в значительной мере определяют качество звуковоспроизведения. В связи с этим вопросы их правильного выбора и применения имеют важное значение при конструировании РЭА.

К сожалению, многие программы подготовки радиоспециалистов, разработчиков и конструкторов РЭА, не предусматривают изучение основ электроакустики и вопросов выбора и применения громкоговорителей и телефонов.

В настоящее время отечественной промышленностью выпускается большое количество громкоговорителей и телефонов различных типов и их выбор и применение без определенной систематизации по электроакустическим и конструктивным параметрам становится затруднительным. Кроме того, справочные данные, приводимые в имеющейся литературе, далеко не полны и зачастую относятся к электроакустическим преобразователям устаревших типов.

За последние годы в связи с планомерным повышением качества звучания, широким проведением унификации и внедрением рекомендаций международных организаций по стандартизации в Советском Союзе обновились почти все выпускавшиеся ранее типы громкоговорителей и некоторые типы телефонов.

Директивами XXIV съезда КПСС по девятому пятилетнему плану предусмотрен дальнейший подъем материального и культурного уровня жизни советского народа. Важную роль в этом играет расширение объема производства и повышение качества товаров народного потребления, в том числе и изделий радиотехнической промышленности: радиоприемников, телевизоров, магнитофонов, радиограммофонов и другой аппаратуры, способной удовлетворить постоянно возрастающие запросы потребителей.

В связи с этим конструкторам РЭА, несомненно, нужно иметь сейчас возможно более полные данные о параметрах и технических характеристиках существующих электроакустических преобразователей — излучателей, применяемых в этой аппаратуре.

В предлагаемой вниманию читателей книге автор попытался в краткой форме осветить перечисленные вопросы.

Автор считает своим долгом выразить признательность докт. техн. наук В. К. Иофе за помощь, оказанную при сборе многочисленного справочного материала, приведенного в книге, а также канд. техн. наук Ю. А. Индлину за ряд ценных замечаний, сделанных при подготовке рукописи к изданию.

Автор

ГЛАВА ПЕРВАЯ

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ЭЛЕКТРОАКУСТИКИ

ОСНОВНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОАКУСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГРОМКОГОВОРИТЕЛЕЙ И ТЕЛЕФОНОВ

Некоторые термины.

Свободное поле — область звукового поля, в которой влияние отражающих поверхностей пренебрежимо мало.

Искусственное ухо — небольшая камера с расположенным в ней измерительным микрофоном, имеющая такие же акустические свойства, как и ухо человека.

Рабочий центр — точка, от которой производится отсчет расстояния от излучателя до измерительного микрофона. Обычно для одного излучателя (головки) за рабочий центр принимается геометрический центр излучающего отверстия.

Для акустических систем и агрегатов, состоящих из нескольких однотипных излучающих головок, за рабочий центр принимается геометрический центр симметрии излучающих отверстий.

В случае, если в одной акустической системе применяются несколько разнотипных головок, за рабочий центр принимается геометрический центр симметрии излучающих отверстий высокочастотных головок.

Рабочая ось — прямая, проходящая через рабочий центр излучателя перпендикулярно к плоскости излучающего отверстия (кроме случаев, особо оговоренных изготовителем).

Характеристики громкоговорителей и телефонов. Номинальное электрическое сопротивление — активное сопротивление, которым можно заменить преобразователь. Величина номинального электрического сопротивления обычно определяется минимальным значением модуля электрического сопротивления преобразователя в диапазоне частот выше частоты основного резонанса.

Электрическая мощность — мощность, рассеиваемая на сопротивлении, равном по величине номинальному электрическому сопротивлению преобразователя, при напряжении, равном напряжению на зажимах преобразователя.

Номинальная мощность — электрическая мощность, при которой преобразователь удовлетворительно работает. Номинальная мощность ограничивается тепловой и механической прочностью конструкции преобразователя и возникновением нелинейных искажений, превышающих допустимую величину.

Частота основного резонанса — частота, при которой модуль полного электрического сопротивления преобразователя имеет первый основной максимум.

Частотная характеристика звукового давления — зависимость от частоты звукового давления, развиваемого преобразователем в точке свободного поля, находящейся на определенном расстоянии от рабочего центра (для телефонов в полости искусственного уха), при постоянном напряжении на зажимах преобразователя.

Диапазон эффективно воспроизводимых частот — диапазон частот, в котором частотная характеристика звукового давления понижается не более чем на оговоренную величину (обычно 10 *дб*) по отношению к значению, усредненному в октавной полосе частот в области максимальной чувствительности. При этом пики и провалы в частотной характеристике у́же 1/8 октавы не учитываются.

Номинальный диапазон частот — диапазо́н частот, в котором гарантируются параметры преобразователя, указанные в технической документации на него.

Неравномерность частотной характеристики — отношение максимального звукового давления к минимальному в номинальном диапазоне частот, выраженное в децибелах. При этом пики и провалы в частотной характеристике у́же 1/8 октавы не учитываются.

Среднее звуковое давление — среднеквадратичное значение звукового давления, развиваемого преобразователем в определенном диапазоне частот в заданной точке свободного поля; усреднение производится по значениям звукового давления [Л. 22] на частотах, соответствующих стандартному ряду предпочтительных чисел: (1,0; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 3,15; 4,0; 5,0; 6,3; 8,0)$\times 10^n$, где n — целое число.

Примечание. При неравномерности частотной характеристики, не превышающей 12 *дб*, среднее звуковое давление допускается определять как среднее арифметическое значение.

Чувствительность громкоговорителя — отношение среднего звукового давления, развиваемого в номинальном диапазоне частот на рабочей оси на расстоянии 1 *м* от рабочего центра, к корню квадратному из подводимой электрической мощности.

Чувствительность телефона — отношение звукового давления, развиваемого в полости искусственного уха, к напряжению на его зажимах.

Среднее стандартное звуковое давление — среднее звуковое давление, развиваемое преобразователем в номинальном диапазоне частот на рабочей оси на расстоянии 1 *м* от рабочего центра при подведении к нему напряжения, соответствующего электрической мощности 0,1 *вт*.

Характеристика направленности — зависимость звукового давления, развиваемого преобразователем на частоте f, или в полосе частот со средней частотой f, в точках свободного поля, находящихся на определенном расстоянии от рабочего центра излучателя, от угла между рабочей осью и направлением на указанные точки.

Коэффициент направленности — отношение звукового давления, развиваемого в точках рабочей оси преобразователя при определенной форме его характеристики направленности, к давлению в тех же точках при круговой характеристике направленности.

Коэффициент гармонических нелинейных искажений (коэффициент гармоник) — отношение среднеквадратичного значения звуковых давлений высших гармоник, обусловленных нелинейностью преобразователя, к звуковому давлению первой гармоники при подведении синусоидального сигнала.

Коэффициент гармоник измеряется при номинальной мощности преобразователя в условиях свободного поля (для телефонов — в полости искусственного уха) с использованием стандартных приборов (анализаторов гармоник) на частотах, соответствующих стандартному ряду. В случае, если указанная в ряде частота попадает на резкий пик или провал частотной характеристики, при измерении коэффициента гармоник допускается отступать от нее, но не более чем на ±15%.

Коэффициент полезного действия (к. п. д.) — отношение излучаемой преобразователем акустической мощности к подводимой электрической.

Дребезг — спектральные компоненты в излучаемом преобразователем сигнале, вызываемые механическими дефектами и слышимые как помеха при его работе в номинальном и эффективно воспроизводимом диапазонах частот.

Призвук — спектральные компоненты излучаемого преобразователем сигнала, слышимые как помеха при подведении к нему синусоидального сигнала.

ПАРАМЕТРЫ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ГРОМКОГОВОРИТЕЛЯХ И ТЕЛЕФОНАХ

Существующие громкоговорители и телефоны основаны на преобразовании электрического сигнала в акустический (звуковой). При этом в большинстве практических конструкций громкоговорителей и телефонов такое преобразование происходит с помощью механической колебательной системы [1], включающей в себя излучающий элемент: диффузор, диафрагму и т. п.

Любая механическая колебательная система [Л. 3, 8, 9, 14] в принципе характеризуется тремя основными параметрами: активной массой m, гибкостью подвеса C и сопротивлением потерь r.

В такой системе под действием приложенной переменной силы F, изменяющейся в простейшем случае по гармоническому закону с частотой $\omega=2\pi f$, возникают сложные колебания активной массы m.

Среди этих колебаний можно выделить установившиеся (полезные) колебания с частотой f и свободные затухающие колебания с собственной резонансной частотой колебательной системы

$$f_0=\frac{1}{2\pi\sqrt{mC}}. \qquad (1)$$

Механическая колебательная система аналогична электрическому колебательному контуру, в котором вместо активной массы m имеется индуктивность L, а вместо гибкости C — емкость C (рис. 1).

На основании такой аналогии подобно закону Ома для элек-

[1] Исключение составляют ионофоны, в которых преобразование электрического сигнала в акустический происходит посредством движущихся ионов.

трических цепей можно записать уравнение полного сопротивления для механической колебательной системы

$$z_м = \frac{F}{v} = r + j\left(\omega m - \frac{1}{\omega C}\right)^*, \tag{2}$$

где $z_м$ — механическое сопротивление, $v = dx/dt$ — колебательная скорость.

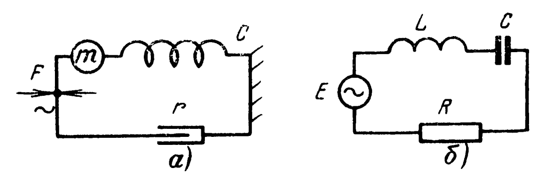


Рис. 1. Аналогия механической (*а*) и электрической (*б*) колебательных систем.

Сила F аналогична ЭДС E, масса m аналогична индуктивности L, гибкость C аналогична емкости C, механическое сопротивление r аналогично электрическому сопротивлению R.

Мнимая величина в выражении (2) характеризует наличие сдвига фаз между возбуждающей силой F и колебательной скоростью v.

Модуль полного механического сопротивления определяется выражением

$$|z_м| = \sqrt{r^2 + \left(\omega m - \frac{1}{\omega C}\right)^2}. \tag{3}$$

Показанная выше аналогия позволяет считать, что для механических колебательных систем (соединенных узлом), так же как и для электрического последовательного колебательного контура, на частотах ниже резонанса выполняется соотношение

$$|z_м| \approx \frac{1}{\omega C}, \tag{4}$$

на частотах в области резонанса

$$|z_м| \approx r, \tag{5}$$

а на частотах выше резонанса

$$|z_м| \approx \omega m. \tag{6}$$

Эту аналогию можно распространить и на акустические колебательные системы, состоящие только из объемов воздуха, обладающего массой m, гибкостью сжатия-разрежения C и сопротивлением r.

Колебательные системы громкоговорителей и телефонов предназначены для излучения звуковых волн и выполняется таким образом, чтобы возможно большая часть колебательной энергии системы излучалась в окружающую воздушную среду.

* Здесь сила F аналогична ЭДС E, а скорость v аналогична электрическому току i.

Излучаемая преобразователем акустическая мощность определяется выражением

$$P=\frac{1}{2}v^2r^*_{и},\tag{7}$$

или с учетом (2)

$$P=\frac{1}{2}\frac{F^2}{|z_м|^2}r_и,\tag{8}$$

где v — колебательная скорость, сообщенная окружающей среде, $r_и$ — активная составляющая сопротивления излучения.

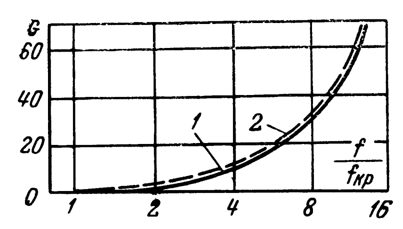


Рис. 2. Частотная зависимость коэффициента направленности излучения.

1 — теоретическая кривая; 2 — аппроксимирующая кривая.

В области низших частот выполняется условие

$$f<f_{кр}=\frac{c_0}{2\pi R_и},\tag{9}$$

где $c_0=340$ *м/сек* — скорость звука в воздухе, $R_и$ — радиус излучателя, $f_{кр}$ — критическая частота.

Активная составляющая сопротивления излучения для преобразователя, установленного в закрытом ящике, определяется выражением

$$r_и\approx\frac{\rho_0}{4\pi c_0}\omega^2S_и^2,\tag{10}$$

где $\rho_0=1{,}29$ *кг/м³* — плотность воздуха, $S_и$ — площадь излучателя.

На высших частотах

$$r_и\approx c_0\rho_0S_и.\tag{11}$$

На частотах выше $f_{кр}$ наблюдается заметная направленность излучения звуковой энергии. Зависимость коэффициента направленности G ** от отношения частот $f/f_{кр}$ приведена на рис. 2 (кривая *1*). Эта зависимость в практически используемом диапазоне звуковых частот приближенно аппроксимируется выражением

$$G=\left(\frac{f}{f_{кр}}\right)^{\frac{5}{3}}.\tag{12}$$

Используя приведенные здесь основные соотношения параметров колебательных систем, можно перейти к характеристике принципов электроакустического преобразования, применяемых в громкоговорителях и телефонах.

---

* Это выражение аналогично выражению $P=\frac{1}{2}i^2R$ для мощности, выделяемой в электрическом контуре на активном сопротивлении R.

** В литературе по электроакустике используется аналогичный коэффициент Ψ, называемый коэффициентом осевой концентрации, однако радиоспециалистам и радиолюбителям более знаком коэффициент направленности G, поэтому здесь он и приводится.

ПРИНЦИПЫ ЭЛЕКТРОАКУСТИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В ГРОМКОГОВОРИТЕЛЯХ И ТЕЛЕФОНАХ

Преобразователи электродинамической системы. Принцип электродинамического преобразования электрического сигнала в акустический основан на известном эффекте взаимодействия поля постоянного магнита с магнитным полем, возникающим вокруг проводника, по которому течет переменный ток звуковой частоты.

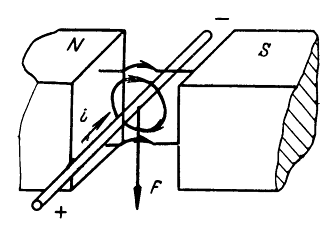


Рис. 3. Принцип электродинамического преобразования.

Если по проводнику, расположенному в магнитном зазоре между разноименными полюсами N, S постоянного магнита, течет постоянный электрический ток i (как показано на рис. 3), то возникающие вокруг проводника круговые магнитные силовые линии будут взаимодействовать с силовыми линиями постоянного магнита, взаимно складываясь над проводником и вычитаясь под ним. В результате такого взаимодействия проводник будет отклоняться вниз силой

$$F=Bli, \tag{13}$$

где B — магнитная индукция в рабочем зазоре магнитной цепи постоянного магнита, l — действующая длина проводника.

Очевидно, что при перемене направления тока в проводнике на противоположное сила F будет направлена вверх.

Если к концам проводника подвести переменное напряжение электрического сигнала U_c, то этот проводник будет совершать колебательные движения с частотой и амплитудой, соответствующими частоте и амплитуде подводимого электрического сигнала. Жестко соединив такой колеблющийся проводник с излучающей диафрагмой, можно получить электродинамический излучатель звука.

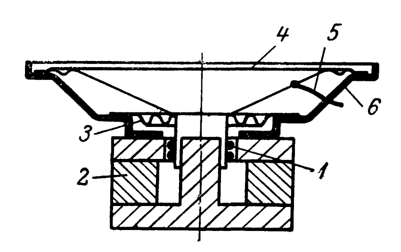


Рис. 4. Конструкция головки электродинамического преобразователя.

В практических конструкциях преобразователей электродинамической системы (рис. 4) проводник наматывается на круглый цилиндрический каркас, образуя звуковую катушку *1*, которая располагается в кольцевом зазоре магнитной системы *2*. Звуковая катушка жестко соединяется с диафрагмой *4*, которая удерживается в нужном положении гибкой центрирующей шайбой *3*, и снабжена гибкими электрическими выводами *5*. Все элементы конструкции монтируются на корпусе *6*. Такая конструкция называется головкой преобразователя.

Преобразователи электродинамической системы обладают достаточно высокими акустическими качествами. Диапазон воспроиз-

водимых частот у них в значительной мере завист от частоты механического резонанса подвижной системы.

Современные серийно выпускаемые головки низкочастотных электродинамических громговорителей имеют резонансную частоту 25—50 *гц*.

Резонансная частота головок высокочастотных электродинамических громкоговорителей может быть получена достаточно высокой — несколько тысяч герц.

Ток, потребляемый электродинамическим преобразователем, определяется выражением

$$i = \frac{U_c}{|Z_э|},$$

где $|Z_э|$ — модуль полного электрического сопротивления преобразователя.

Учитывая это, силу, действующую на звуковую катушку, определяемую выражением (13), можно представить как

$$F = \frac{BlU_c}{|Z_э|}. \quad (14)$$

Подставив формулу (14) в (8), получим выражение для мощности, излучаемой электродинамическим преобразователем:

$$P = \frac{1}{2}\left(\frac{BlU_c}{|z_м|\cdot|Z_э|}\right)^2 r_и. \quad (15)$$

Полное электрическое сопротивление преобразователей электродинамической системы зависит от длины провода и индуктивности звуковой катушки, а также от индукции в зазоре магнитной цепи и определяется выражением

$$|Z_э| = R + j2\pi fL + \frac{B^2l^2}{|z_м|}, \quad (16)$$

где R — активное сопротивление, L — индуктивность звуковой катушки.

Для области низших частот, лежащей ниже частоты механического резонанса подвижной системы, модуль механического сопротивления $|z_м|$ и активная составляющая сопротивления излучения $r_и$, входящие в выражение (15), определяются выражениями (4) и (10), а модуль полного электрического сопротивления

$$|Z_э| \approx R + \frac{B^2l^2}{|z_м|}. \quad (17)$$

Подставив выражения (4), (10), (17) в (15), получим зависимость излучаемой мощности от частоты в области низших частот:

$$P_{н.ч} \approx k_1 f^4,$$

где k_1 — величина, не зависящая от частоты, т. е. излучаемая мощность в диапазоне от самых низших частот до резонанса растет примерно пропорционально четвертой степени частоты или 12 *дб* на октаву (рис. 5, участок *а* — б).

На частотах в области резонанса к. п. д. и излучаемая мощность максимальны (рис. 5, участок *б* — *в*).

На средних частотах, лежащих выше области резонанса, модуль механического сопротивления определяется выражением (6), сопро-

тивление излучения по-прежнему выражением (10), а модуль полного электрического сопротивления имеет минимальную величину

$$|Z_э| \approx R. \tag{18}$$

Подставив выражения (6), (10), (18) в (15), получим:

$$P_{с.ч} \approx k_2,$$

где k_2 — величина, не зависящая от частоты.

В полученном выражении отсутствует множитель f, т. е. в некоторой области частот, лежащей за резонансом, излучаемая акустическая мощность не зависит от частоты. Теоретически в этой области частотная характеристика излучаемой мощности горизонтальна (рис. 5, участок *в—г*).

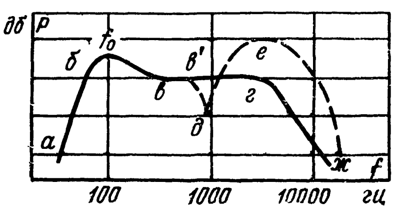


Рис. 5. Частотная характеристика излучения электродинамического преобразователя.

——— — акустическая мощность;
– – – – звуковое давление.

На более высоких частотах возрастает влияние индуктивной составляющей электрического сопротивления звуковой катушки в соответствии с выражением (16), а активная составляющая сопротивления излучения становится постоянной величиной в соответствии с (11). При этом модуль механического сопротивления остается примерно постоянной величиной, определяемой по-прежнему выражением (6). Подставив выражения (6), (11), (16) в (15), получим:

$$P_{в.ч} \approx \frac{k_3}{f^2},$$

где k_3 — величина, не зависящая от частоты, т. е. частотная зависимость излучаемой мощности примерно обратно пропорциональна квадрату частоты, что равносильно снижению 6 *дб* на октаву (сплошная кривая на участке *г — ж* рис. 5).

Рассмотренная выше частотная зависимость излучаемой акустической мощности характеризует преобразователь недостаточно полно, так как в ней не отражено влияние интерференционных явлений и направленности излучения.

Более показательная частотная характеристика звукового давления, поскольку она определяет субъективное восприятие громкости звучания на различных частотах звукового диапазона.

Рассмотрим форму частотной характеристики звукового давления для преобразователей электродинамической системы, например для громкоговорителей.

Диапазон частот, воспроизводимый этими преобразователями, включает обычно область сравнительно низких частот, ниже критической частоты, определяемой выражением (9). В этой области частот характеристика направленности мало отличается от окружности (точнее сферы) и зависимость звукового давления от частоты примерно совпадает с зависимостью излучаемой акустической мощности (рис. 5, участок *а—в'*).

В области критической частоты диффузор теряет жесткость и отдельные его части могут колебаться в противофазе. Это приводит

к появлению резких пиков и провалов в частотной характеристике звукового давления, особенно когда в противофазе начинают колебаться диффузор и его гибкий подвес, площадь которого соизмерима с площадью конической части диффузора (рис. 5, участок *в′— д*, пунктирная кривая).

На частотах выше критической характер излучения звука электродинамическим преобразователем значительно усложняется, поскольку отдельные участки диффузора начинают колебаться с различными фазами и амплитудами. При этом диффузор уже нельзя рассматривать как идеальный поршневой излучатель. В настоящее время нет строго обоснованного теоретического описания механизма излучения на высоких частотах преобразователями электродинамической системы. В первом приближении можно считать, что с ростом частоты выше критической одновременно действуют несколько факторов: фактор увеличения направленности излучения в соответствии с выражением (12), повышающий фронтальное излучение; фактор уменьшения активной массы диффузора и соколеблющегося воздуха, повышающий общее излучение; фактор увеличения полного электрического сопротивления звуковой катушки в соответствии с выражением (16), понижающий излучение; фактор увеличения механического сопротивления в соответствии с выражением (6), понижающий излучение; фактор увеличения потерь на вихревые токи в деталях магнитной цепи, понижающий излучение.

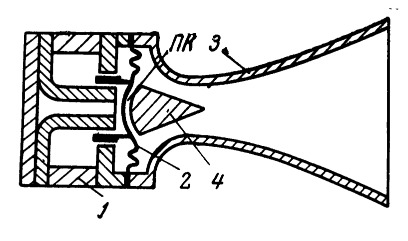


Рис. 6. Конструкция рупорного электродинамического громкоговорителя.

1 — магнитная система; *2* — подвижная система; *3* — рупор; *4* — вкладыш.

Первые два из перечисленных факторов повышающие излучение, вначале преобладают над последними (рис. 5, участок *д — е*, пунктирная кривая). Но при дальнейшем росте частоты значительное преобладание получают факторы, понижающие излучение, что приводит к резкому спаду частотной характеристики (рис. 5, участок *е — ж*, пунктирная кривая).

Частотная характеристика звукового давления, изображенная на рис. 5, показывает общий характер фронтального излучения преобразователя электродинамической системы. Реальные частотные характеристики у этих преобразователей изобилуют множеством мелких пиков и провалов, обусловленных интерференционными явлениями, вызванными сложным характером колебаний диафрагм.

Диапазон воспроизводимых частот у преобразователей электродинамической системы достаточно широкий и достигает 7—8 октав при неравномерности частотной характеристики звукового давления 10—18 *дб*.

Коэффициент полезного действия преобразователей этой системы весьма низок — единицы процентов.

Более высоким к. п. д. (20—30%) обладают рупорные громкоговорители электродинамической системы.

В рупорном громкоговорителе (рис. 6) головка-преобразователь, состоящая из магнитной системы *1* и подвижной системы *2*, соеди-

няется с горловиной экспоненциального рупора *3*. При этом между куполообразной частью диафрагмы и вкладышем *4* образуется предрупорная камера *ПК*.

Отношение излучающей площади диафрагмы $S_д$ к площади S_0 горловины рупора (на рис. 6 кольцевая щель между стенками рупора *3* и вкладышем *4*) называется коэффициентом трансформации предрупорной камеры $n=S_д/S_0$.

Активная составляющая сопротивления излучения диафрагмы определяется выражением

$$r_и = \rho_0 c_0 S_0 n^2 \sqrt{1-\left(\frac{f_{кр.р}}{f}\right)^2}, \qquad (19)$$

где $f_{кр.р}$ — критическая частота рупора.

Критическая частота определяется в свою очередь выражением

$$f_{кр.р}=\frac{\delta c_0}{4\pi}, \qquad (20)$$

где δ — показатель расширения рупора.

Из выражения (19) видно, что волновой процесс в экспоненциальном рупоре возможен лишь при $f>f_{кр}$.

Надлежащим образом выбирая величину коэффициента трансформации *n*, можно добиться примерного равенства механического сопротивления подвижной системы излучателя и сопротивления излучения

$$|z_м| \approx r_и,$$

т. е. оптимальных условий работы излучателя.

Линейные размеры оконечного отверстия рупора должны быть сравнимы с длиной волны звука низшей воспроизводимой частоты; это обеспечивает достаточно эффективный переход звуковой энергии из рупора в окружающее пространство.

Излучаемая рупорными громкоговорителями мощность частотно независима в области частот, близкой к резонансной частоте подвижной системы, и значительно падает за пределами этой области.

Практически низшей частотой рабочего диапазона для рупорных громкоговорителей считают частоту, лежащую примерно на полоктавы выше критической частоты (20) рупора. Для более низких частот сопротивление излучения в соответствии с выражением (19) становится слишком малым.

Диапазон воспроизводимых частот для рупорных громкоговорителей электродинамической системы составляет 3—5 октав при неравномерности частотной характеристики звукового давления 15—20 *дб*.

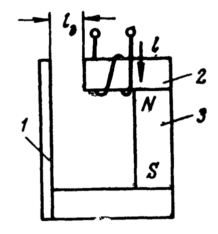


Рис. 7. Схема электромагнитного преобразователя.

1 — якорь; *2* — магнитопровод; *3* — постоянный магнит.

Преобразователи электромагнитной системы. Принцип действия преобразователя электромагнитной системы (рис. 7) основан на эффекте притяжения гибкой пластины (якоря) *1*, изготовленной из ферромагнитного материала, электромагнитом *2*, по обмотке которого течет переменный ток звуковой частоты.

При этом в зазоре между свободным полюсом электромагнита 2 и якорем 1 возникает магнитный поток

$$\Phi_c = \frac{iw}{R_м k_п}, \qquad (21)$$

где w — число витков обмотки электромагнита, $R_м$ — магнитное сопротивление магнитной цепи, $k_п$ — коэффициент потерь.

Очевидно, если частота тока равна f, то частота колебаний якоря будет $2f$, так как за один период изменения тока в обмотке электромагнита якорь притянется к сердечнику магнитопровода дважды (один раз в положительный полупериод и второй раз — в отрицательный).

Для устранения этого явления удвоения частоты в магнитную цепь электромагнитного преобразователя вводится постоянный поляризующий магнит NS, который создает в воздушном зазоре постоянный магнитный поток

$$\Phi_0 = \frac{\theta}{R_м k_п}, \qquad (22)$$

где θ — магнитодвижущая сила постоянного магнита.

При этом сила притяжения свободного конца якоря к сердечнику магнитопровода определяется выражением

$$F = \frac{(\Phi_0 + \Phi_c)^2}{2\mu_0 S_з},$$

где μ_0 — магнитная проницаемость воздуха, $S_з$ — площадь воздушного зазора, или с учетом выражений (21), (22)

$$F = \frac{\theta^2}{2\mu_0 S_з (R_м k_п)^2} + i\frac{\theta w}{\mu_0 S_з (R_м k_п)^2} + i^2\frac{w^2}{2\mu_0 S_з (R_м k_п)^2}.$$

Как видно, сила, действующая на якорь в электромагнитном преобразователе-излучателе, кроме полезной составляющей, прямо пропорциональной току i электрического сигнала, содержит еще постоянную составляющую и составляющую, пропорциональную i^2. Если постоянная составляющая силы не влияет на акустические свойства преобразователя[1], то составляющая, пропорциональная i^2, является неизбежной причиной нелинейных искажений.

Влияние указанной причины можно уменьшить, если выполнить условие

$$\Phi_0 \gg \Phi_c.$$

Однако при этом за счет значительного увеличения постоянной составляющей силы, действующей на якорь, последний может выйти из линейной области упругих деформаций, что в свою очередь приводит к увеличению нелинейных искажений.

Кроме того, наличие в магнитной цепи рассматриваемого преобразователя постоянного магнита, через который проходит переменный магнитный поток Φ_c, приводит к большим потерям энергии электрического сигнала, особенно в области высших частот.

[1] Это справедливо только для линейной области упругих деформаций якоря.

В связи с этим электроакустические излучатели электромагнитной системы, работающие по принципу, показанному на рис. 7, имеют удовлетворительные характеристики в сравнительно узкой области частот и используются в основном в телефонах для воспроизведения речи.

В узком диапазоне воспроизводимых частот электромагнитные преобразователи имеют достаточно высокий к. п. д.

Простота конструкции электромагнитных преобразователей позволяет создать малогабаритные легкие капсюли, удобные для применения в качестве телефонов.

Более высокими качествами обладают электромагнитные, дифференциальные преобразователи (рис. 8), в которых переменный магнитный поток проходит через якорь *1* и полюсные наконечники *3*, изготовленные из мягкой стали, минуя постоянный магнит *5*, что уменьшает потери энергии и расширяет диапазон воспроизводимых частот, который у преобразователей электромагнитной системы составляет примерно 3—4 октавы при неравномерности частотной характеристики от 10 до 40 *дб*.

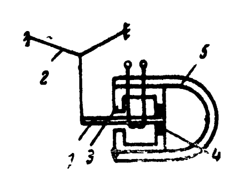


Рис. 8. Схема дифференциального электромагнитного преобразователя.

1 — якорь; *2* — диафрагма; *3* — магнитопровод; *4* — прокладка; *5* — постоянный магнит.

Излучаемая электромагнитным преобразователем акустическая мощность максимальна на частоте механического резонанса его подвижной системы и значительно снижается на частотах, лежащих ниже и выше резонанса.

Аналогично электродинамическим преобразователям, используя выражения, приведенные выше, можно показать, что на низших (до резонанса) частотах излучаемая электромагнитным преобразователем акустическая мощность определяется выражением $P_{н.ч}=k_4f^2$, а на высших (выше резонанса) частотах $P_{в.ч}=k_5/f^2$, где $k_{4,5}$ — величины, не зависящие от частоты.

Графически зависимость излучаемой электромагнитным преобразователем акустической мощности от частоты изображена на рис. 9 сплошной кривой, а звукового давления — пунктиром.

В телефонах электромагнитной системы в связи с малыми размерами капсюлей-преобразователей для расширения частотных характеристик звукового давления в области высших частот под излучающей диафрагмой (мембраной) размещают акустический резонатор, который поднимает уровень звукового давления на частоте своего резонанса f'_0 (рис. 9).

Кроме того, применяя различные способы демпфирования, добиваются сглаживания частотной характеристики в области основного резонанса f_0. В результате частотные характеристики звукового давления существующих телефонов имеют вид, изображенный на рис. 9 пунктирной кривой.

Преобразователи электростатической системы. Аналогично преобразователям электромагнитной системы действуют преобразователи электростатической системы, в которых в качестве излучающего элемента используется подвижная (гибкая) пластина конденсатора.

Схема преобразователя электростатической системы приведена на рис. 10.

К пластинам *1*, *2* (рис. 10), образующим конденсатор, подводится переменное напряжение сигнала U_c и постоянное поляризующее напряжение U_0 (через разделительное сопротивление R). При этом аналогично преобразователю электромагнитной системы на подвижную пластину *1* действует сила,

$$F = \frac{(U_0 + U_c)^2 S_{и}\varepsilon_0}{2l_з^2} = \frac{U_0^2 S_{и}\varepsilon_0}{2l_з^2} + U_c \frac{U_0 S_{и}\varepsilon_0}{l_з^2} + U_c^2 \frac{S_{и}\varepsilon_0}{2l_з^2},$$

где ε_0 — диэлектрическая проницаемость воздуха.

Как видно, и в этом случае сила, действующая на подвижную пластину, состоит из трех составляющих: постоянной, пропорциональной напряжению сигнала U_c и пропорциональной квадрату напряжения сигнала $U^2{}_c$.

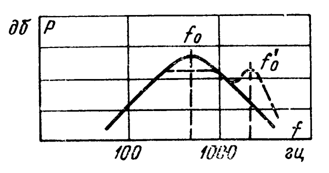


Рис. 9. Частотная характеристика излучения электромагнитного преобразователя.

——— акустическая мощность; — — — — звуковое давление.

Последняя составляющая является причиной нелинейных искажений. Уменьшить влияние составляющей, пропорциональной $U^2{}_c$, можно, соблюдая условие

$$U_0 \gg U_c,$$

которое для электростатических преобразователей может быть выполнено с небольшими ограничениями, в связи с чем электростатические преобразователи имеют гораздо меньшие нелинейные искажения по сравнению с электромагнитными.

Воспроизведение этими преобразователями низших частот определяется размерами пластины-конденсатора. Например, для воспроизведения частоты 100 *гц* площадь пластины должна быть около 0,5 *м*². Более высокие частоты могут воспроизводиться пластинами меньшей площади. Вообще размеры пластины примерно обратно пропорциональны квадрату низшей воспроизводимой частоты.

Более высоким качеством обладают дифференциальные электростатические преобразователи (рис. 11), в которых подвижная пластина *1* расположена между двумя неподвижными пластинами *2*. При этом поляризующее напряжение U_0 подается между подвижной пластиной и средней точкой вторичной обмотки согласующего трансформатора.

Рис. 10. Схема электростатического преобразователя.

1 — подвижная пластина; *2* — неподвижная пластина.

Частотная характеристика излучаемой электростатическим громкоговорителем акустической мощности приведена на рис. 12. Как видно, в некоторой области частот *а* — *б*, лежащей ниже частоты механического резонанса подвижной пластины (мембраны), частотная характеристика излучаемой акустической мощности горизонтальна. Это достигается за счет выбора частоты резонанса f_0 излучающей диафрагмы выше верхней границы звукового диапазона.

Действительно, используя приведенные выше соотношения, можно показать, что на частотах f, удовлетворяющих неравенствам

$$\left.\begin{aligned} \frac{c_0}{2\pi R_{\text{и}}} < f < f_0; \\ f > \frac{1}{2\pi C R_i}, \end{aligned}\right\} \tag{23}$$

где C — емкость между пластинами преобразователя, R_i — внутреннее сопротивление усилителя, излучаемая электростатическим преобразователем акустическая мощность не зависит от частоты. Не-

Рис. 12. Частотная характеристика излучения электростатического преобразователя.

——— по акустической мощности; — — — — по звуковому давлению.

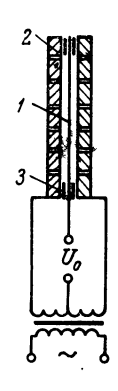


Рис. 11. Схема дифференциального электростатического преобразователя.

1 — подвижная пластина; *2* — неподвижная пластина; *3* — изоляционные прокладки.

равенства (23) определяют номинальный диапазон частот электростатического преобразователя.

Частотная характеристика звукового давления в рабочей области (рис. 12, участок *а—б*, пунктирная кривая) также почти горизонтальна. Небольшой подъем на высших частотах объясняется приближением к резонансу и увеличением направленности излучения с ростом частоты.

Электростатические преобразователи применяются, в основном, в качестве высокочастотных громкоговорителей. При этом они обеспечивают диапазон воспроизводимых частот около трех октав при незначительной неравномерности частотной характеристики (3—5 *дб*) и коэффициенте гармоник около 1%.

Этот диапазон значительно расширяется в сложных громкоговорителях, состоящих из нескольких (от 2 до 4) электростатических преобразователей, каждый из которых воспроизводит свою полосу частот. Существуют такие электростатические громкоговорители с номинальным диапазоном частот от 20 до 20 000 *гц*, однако их применение ограничивается большими размерами и высокой стоимостью.

В связи с малыми нелинейными и частотными искажениями преобразователи электростатической системы имеют очень «чистое» естественное звучание.

Электростатические громкоговорители применяются в высококачественных акустических системах РЭА и контрольных агрегатах громкоговорителей для радиостудий в основном для воспроизведения высокочастотной (реже средне- и низкочастотной) части звукового диапазона. Необходимость в высоком поляризующем напряжении делает в настоящее время особенно целесообразным их применение в телевизорах, имеющих источники высокого напряжения.

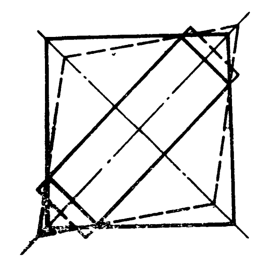


Рис. 13. Изменение формы пластинки, вырезанной из пьезокристалла, под действием электрического поля.

Перспективным направлением развития электростатических преобразователей является применение электретных[1] пленок в качестве подвижных пластин. При этом не требуется источников постоянного напряжения U_0 (рис. 10, 11), что значительно расширяет возможности применения этих преобразователей.

Преобразователи пьезоэлектрической системы. Электроакустические преобразователи-излучатели пьезоэлектрической системы основаны на эффекте механических деформаций кристаллов некоторых веществ при воздействии на них электрического поля (эффект электрострикции). Если, например, вырезанную из кристалла сегнетовой соли пластинку, плоскость которой перпендикулярна электрической оси кристалла (*x*-срез), поместить в электрическое поле, то форма пластинки изменится. В зависимости от раскроя кристалла (рис. 13) квадратная пластинка может принять форму ромба, а прямоугольная — изменить свою длину. При перемене полярности приложенного электрического поля направление деформаций соответственно изменится на противоположное.

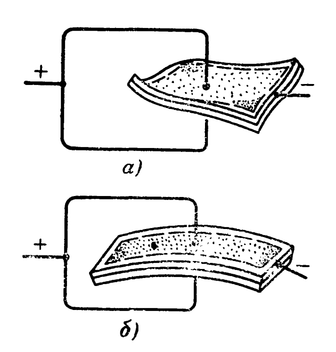


Рис. 14. Изгиб биморфных пьезоэлементов под действием приложенного электрического напряжения.

а — квадратная пластина; *б* — длинная узкая пластина.

Две одинаковые пластинки с нанесенными на их поверхности электропроводящими слоями (обкладками), склеенные между собой, образуют биморфный пьезоэлемент. Подведенное к электродам такого пьезоэлемента электрическое напряжение вызовет его изгиб, как показано на рис. 14,*а*, *б*, в зависимости от раскроя кристалла и формы пластин.

При подведении к электродам переменного напряжения электрического сигнала U_c пьезоэлемент вибрирует с частотой сигнала. Жестко связанная с таким кристаллом диафрагма может излучать звук в окружающее пространство.

[1] Электрет — это тело из диэлектрика, которое имеет на своей поверхности длительно сохраняющиеся электрические заряды, образующие в прилегающем пространстве постоянное электрическое поле.

Возникающие при работе пьезоэлемента сила F или деформация x, зависят от пьезоэлектрической постоянной $П$ кристалла и связаны соотношением

$$\frac{F}{q}=\frac{U_0}{x}=kП,$$

где q — электрический заряд на электродах пьезоэлемента, k — постоянный коэффициент, зависящий от размеров пьезоэлемента.

Аналогично приводившимся выше выводам можно показать, что излучаемая пьезоэлектрическим преобразователем акустическая мощность при постоянстве подводимого напряжения определяется выражением

$$P=k_6 f^4,$$

где k_6 — величина, не зависящая от частоты.

Такая значительная зависимость излучаемой мощности от частоты объясняется тем, что пьезоэлемент имеет емкостное сопротивление и ток i_c, протекающий через него, резко увеличивается с увеличением частоты.

Для выравнивания частотной характеристики последовательно с пьезоэлементом включается высокоомное активное сопротивление. При этом удается получить частотную характеристику аналогичную приведенной на рис. 12 со спадом в области частот выше частоты резонанса f_0.

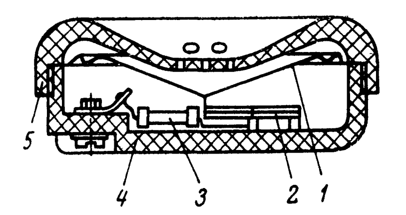


Рис. 15. Конструкция пьезоэлектрического телефона.

1 — диафрагма; 2 — квадратный биморфный пьезоэлемент, закрепленный неподвижно в трех углах; 3 — высокоомное сопротивление; 4 — пластмассовый корпус; 5 — крышка (амбушюр).

Излучаемая акустическая мощность и к. п. д. преобразователей пьезоэлектрической системы зависят от размеров пьезоэлементов и свойств кристаллов. Наибольшей пьезоэлектрической постоянной обладают кристаллы сегнетовой соли, однако эти кристаллы очень непрочны, чувствительны к влаге и безвозвратно теряют пьезоэлектрические свойства при нагревании до температуры +55 °С. Интервал температур для нормальной работы пьезоэлементов из сегнетовой соли ограничен значениями от —18 до +22 °С.

Более высокой устойчивостью к воздействию механических и климатических факторов обладают керамические пьезоэлементы из титаната бария и цирконат-титаната свинца, хотя пьезоэлектрическая постоянная у них ниже, чем у сегнетовой соли.

В связи с трудностью получения пьезоэлементов больших размеров пьезоэлектрические преобразователи могут применяться в основном в телефонах. Конструкция преобразователя (телефонного капсюля) пьезоэлектрической системы приведена на рис. 15.

Большим достоинством пьезоэлектрических преобразователей является очень малое потребление энергии от источника сигнала, определяемое емкостным сопротивлением пьезоэлемента. В связи с этим они могут применяться в экономичных устройствах с автономным питанием.

Ионные преобразователи. Наиболее оптимальными с точки зрения согласования сопротивлений источника колебаний и воздушной среды, в которой распространяются возбуждаемые колебания, являются ионные электроакустические преобразователи — ионофоны.

Существуют три разновидности газовых ионных преобразователей: с использованием факельного разряда, высокочастотного дугового разряда и коронного разряда постоянного тока. Две первые разновидности могут применяться только в качестве высокочастотных излучателей, а третья теоретически может обеспечить очень широкий диапазон излучаемых частот; от инфракрасных до ультразвуковых. В результате модуляции ионный поток между электродами колеблется с частотой сигнала и, соударяясь с молекулами воздуха, вызывает звуковые волны.

Отсутствие в ионном преобразователе каких-либо механических колебательных элементов с сосредоточенными параметрами (массой, гибкостью) позволяет получить очень высокое качество воспроизведения звука практически без искажений.

Несмотря на высокие акустические качества, практического применения ионные преобразователи в настоящее время пока не находят, так как, во-первых, существующие конструкции этих преобразователей еще не обладают достаточной долговечностью и стабильностью работы, а во-вторых, еще не исчерпаны все возможности улучшения качества звучания других, более дешевых преобразователей. Однако за ионными преобразователями, несомненно, большое будущее.

ГЛАВА ВТОРАЯ

ОБЩИЕ РЕКОМЕНДА́ЦИИ ПО ПРИМЕНЕНИЮ ГРОМКОГОВОРИТЕЛЕЙ И ТЕЛЕФОНОВ

СООТНОШЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОАКУСТИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ И ПАРАМЕТРОВ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

Громкоговорители и телефоны являются конечными звеньями трактов РЭА, преобразующими электрический сигнал в акустический.

Требования, предъявляемые к РЭА и применяемым в ней преобразователям, в части акустических параметров весьма различны и зависят от назначения аппаратуры.

Наиболее простые в этом отношении требования предъявляются к аппаратуре телеграфной связи, где передача информации ведется сигналами азбуки Морзе. В этом случае к применяемому электроакустическому преобразователю могут быть предъявлены два простейших требования: он должен создавать сигналы, громкость которых достаточна для уверенного приема на слух, и воспроизводить звуковые частоты в области наибольшей чувствительности уха человека (примерно 1 000—3 000 *гц*).

Оценить необходимую громкость сигнала (т. е. звуковое давление), а также диапазон воспроизводимых преобразователем частот можно с помощью табл. 1 и рис. 16.

Из табл. 1 видно, что звуковое давление пропорционально корню квадратному из акустической мощности. Кроме того, известно, что звуковое давление обратно пропорционально расстоянию до источника звука. Так, например, среднее звуковое давление, развиваемое дуэтом певцов на расстоянии 2 *м*, можно определить по данным табл. 1 как

$$p = 0{,}14\sqrt{2}\,\frac{10}{2} \approx 1 \text{ н/м}^2.$$

Таблица 1

Звуковое давление некоторых естественных источников звука на расстоянии 10 *м* в свободном поле

Источник звука	Среднее звуковое давление, *н/м²*
Разговорная речь	0,05
Голос одного певца	0,14
Оркестр из 15 человек	0,4
Пневматический молот	0,6
Хор из 100 человек	1,4

Звуковое давление, развиваемое преобразователем в помещении, находится по приближенной формуле

$$p_н \approx 0{,}2 p_i \sqrt{U}, \quad (24)$$

где U — объем помещения, $м^3$; p_i — среднее звуковое давление, определяемое по табл. 1.

В соответствии с формулой (24) необходимая мощность выходного усилителя РЭА в ваттах определяется выражением

$$P_у = 0{,}1\left(\frac{p_н}{p_{ост}}\right)^2. \quad (25)$$

При этом должно соблюдаться условие

$$R_i < R_н, \quad (26)$$

где R_i — выходное сопротивление усилителя, *ом*; $R_н$ — номинальное электрическое сопротивление преобразователя, *ом*.

На рис. 16 началу отсчета звукового давления (0 *дб*) соответствует стандартный порог слышимости $2\cdot10^{-5}$ *н/м²*.

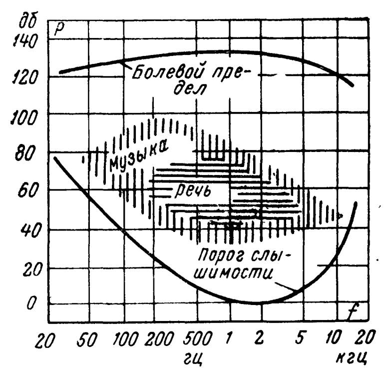


Рис. 16. Кривые порогов слышимости уха человека и зоны распределения звукового давления музыкального и речевого сигналов.

Более высокие требования предъявляются к электроакустическим преобразователям, применяемым в аппаратуре телефонной связи. Эти преобразователи должны обеспечивать разборчивый (часто громкоговорящий) прием речевых передач с диапазоном частот примерно 300—3 000 *гц* при определенном уровне нелинейных искажений (обычно не более 20%).

Таблица 2

Нормируемые величины диапазонов частот и неравномерности частотных характеристик РЭА по качеству звучания

Параметр	Нормируемые значения для классов качества			
	высшего	первого	второго	третьего
Диапазон частот, *гц*	30—15 000	50—10 000	100—6 000	200—4 000
Неравномерность частотной характеристики, *дб*:				
а) в диапазоне от $f_н$ до 1,5 $f_н$ и от 0,66 $f_в$ до $f_в$	6	6	6	6 (10)
б) в остальной части диапазона	2	2	3	6 (10)

Примечания: 1. В таблице через $f_н$ и $f_в$ обозначены соответственно нижняя и верхняя частота диапазона.

2. Нормы указанные в скобках, установлены для выходных устройств РЭА, имеющих резкие пики и провалы в частотной характеристике, например для электродинамических громкоговорителей.

Еще более высокие требования предъявляются к электроакустическим преобразователям, применяемым в бытовой и особенно в профессиональной звуковещательной РЭА. Для этой аппаратуры установлены 4 класса качества звучания [Л. 19].

Нормы на ширину номинального диапазона частот и величину неравномерности частотных характеристик звукового давления для этой аппаратуры приведены в табл. 2, а на допустимые нелинейные искажения — в табл. 3.

Приводимые здесь классы качества характеризуют только естественность звучания, их не следует путать с классами качества, например, радиоприемников (5 классов), качество которых характеризуется целым рядом параметров, в том числе и чисто рыночных (качество отделки и т. п.).

Радиоприемники высшего класса могут соответствовать первому или даже второму классу по нормам, приведенным в табл. 2.

При установлении класса качества учитываются технические возможности и экономические соображения. Так, например, требованиям высшего качества должны удовлетворять профессиональные приемники частотно-модулированных сигналов и аппаратура крупных радиовещательных узлов.

Требованиям первого класса качества должны удовлетворять профессиональные приемники амплитудно-модулированных сигналов, аппаратура крупных станций проводного вещания, высококачественные магнитофоны и аппаратура небольших радиовещательных узлов.

Требованиям второго класса качества должны удовлетворять радиовещательные приемники амплитудно-модулированных сигналов индивидуального пользования, магнитофоны и устройства граммофонной записи бытового назначения и аппаратура небольших станций проводного вещания.

Таблица 3

Нормируемые величины допустимых нелинейных искажений РЭА

Частота испытательного сигнала, *гц*	Допустимые величины коэффициента гармоник для классов качества звучания			
	высшего	первого	второго	третьего
До 100 включительно	2 (1)	6 (3)	—	—
От 100 до 200 включительно	1,5 (0,7)	3,5 (1,7)	8 (4)	—
От 200 до 4 000 включительно	1 (0,6)	2,5 (1,2)	4 (2)	7 (3,5)
Свыше 4 000	2 (1)	5 (2,5)	—	—

Примечание. В скобках указаны предельные допустимые нормы при пониженном уровне мощности.

Показатели, соответствующие третьему классу качества, могут иметь только приемники амплитудно-модулированных сигналов бытового назначения и отдельные громкоговорители.

Требования, предъявляемые к качеству современной РЭА, как видно из табл. 2, 3, довольно жесткие и могут быть обеспечены только при правильном применении электроакустических преобразователей и взаимном согласовании их параметров с параметрами электрических трактов аппаратуры.

В табл. 4 приведены нормы на величины номинальных рабочих диапазонов и неравномерности частотных характеристик электродинамических диффузорных громкоговорителей прямого излучения, наиболее широко применяемых в бытовой и профессиональной РЭА.

Нормируемые величины допустимых нелинейных искажений для электродинамических диффузорных громкоговорителей прямого излучения приведены в табл. 5.

Как видно из табл. 2—5, нормы на параметры аппаратуры могут быть более жесткими, чем на аналогичные параметры применяемых в этой аппаратуре электроакустических преобразователей (громкоговорителей).

В связи с этим в высококачественной аппаратуре применяются не по одному, а по нескольку громкоговорителей. Так, перекрытие диапазона первого класса качества (табл. 2) от 50 до 10 000 *гц* достигается применением в акустической системе двух громкоговорителей, имеющих, например, диапазоны № 10 и 14. Однако при этом может не выполняться условие требуемой неравномерности частотной характеристики звукового давления, поскольку в зоне перекрытия двух диапазонов громкоговорителей их звуковые давления складываются (рис. 17).

Таблица 4

Нормируемые величины диапазонов частот и неравномерности частотных характеристик электродинамических диффузорных громкоговорителей прямого излучения

№ диапазона	Номинальный диапазон частот, *гц*	Неравномерность частотной характеристики, *дб*, не более	Рекомендуемое применение
1	450—3 150	18	В малогабаритных переносных приемниках
2 3 4 5 6 7	315— 3 550 315— 5 000 200— 6 300 125— 7 100 100—10 000 80—12 500	15	В переносных и стационарных приемниках, радиолах, телевизорах, магнитолах, магнитофонах, электрофонах
8 9	63—12 500 80—12 500	12	В стационарных приемниках, радиолах, телевизорах, магниторадиолах
10 11	40—5 000 63—5 000		В акустических системах в качестве низкочастотных громкоговорителей
12	200—5 000		В акустических системах в качестве среднечастотного громкоговорителя
13 14	5 000—16 000 1 000—12 500	10	В акустических системах в качестве высокочастотных громкоговорителей
15 16	125— 7 100 100—10 000	18	В автомобильных приемниках

Примечания: 1. Для громкоговорителей, применяемых в многоканальных акустических системах, допускаетя в диапазоне № 10 снижение верхней граничной частоты.

2. Параметры громкоговорителей в диапазоне воспроизводимых частот ниже 40 *гц* не нормируются стандартами.

Для устранения этого явления громкоговорители подключают к усилителю через разделительные фильтры по одной из схем, показанных на рис. 18. Применяются двух- и трехполосные акустические системы.

За частоту разделения в двухполюсных акустических системах принимают обычно частоту $f_р = 3\,000 \div 5\,000$ *гц*. Схемы разделительных фильтров при этом выбираются из условий получения наиболее

равномерной частотной характеристики системы в зависимости от формы частотных характеристик отдельных громкоговорителей.

Фильтр на рис. 18,*а* может обеспечить крутизну спада — подъема частотных характеристик громкоговорителей в области около частоты разделения 6 *дб* на октаву, фильтр на рис. 18,*б* — 12 *дб* на октаву, фильтр на рис. 18,*в* — 18 *дб* на октаву. Схема на рис. 18,*г* с двумя выходными трансформаторами применяется для согласования различных электрических сопротивлений громкоговорителей с вы-

Таблица 5

Нормируемые величины допустимых нелинейных искажений для электродинамических диффузорных громкоговорителей прямого излучения

Обозначение группы	№ диапазона	Коэффициент гармоник при номинальной мощности, % для частот, *гц*										
		63	80	125	200	400	630	1 000	2 000	4 000	6 300	8 000
А	8, 9, 10, 11, 12, 13, 14	20	15	10	5	5	5	3	3	3	3	3
Б	4, 5, 6, 7*, 15, 16	—	—	10	7	5	5	5	3	3	3	3
В	1, 2, 3	—	—	—	—	—	10	7	5	—	—	—

* В новых разработках громкоговорители с указанным диапазоном должны выпускаться по группе А.

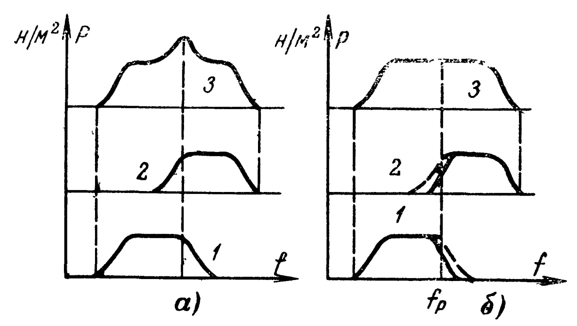


Рис. 17. Частотные характеристики звукового давления акустических систем, состоящих из двух громкоговорителей (низкочастотного и высокочастотного).

а — без разделительного фильтра; *б* — с разделительным фильтром; *1* — частотная характеристика низкочастотного громкоговорителя; *2* — частотная характеристика высокочастотного громкоговорителя; *3* — суммарная частотная характеристика.

ходным сопротивлением усилителя, если такого согласования (с учетом равномерного распределения акустической мощности во всем диапазоне) невозможно добиться при непосредственном включении громкоговорителей через фильтры (рис. 18,*а*, *б*, *в*). Схема (рис. 18,*г*) может применяться как самостоятельно, так и в сочетании с фильтрами (рис. 18,*а*, *б*, *в*).

В высококачественных акустических системах (особенно при применении в качестве низкочастотных головок громкоговорителей с частотой резонанса 25—30 гц) применяются трехполосные разделительные фильтры (рис. *18,д*).

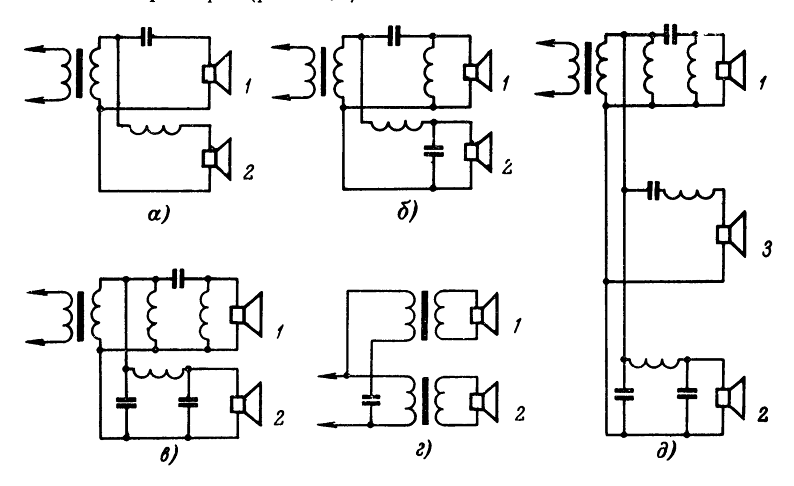


Рис. 18. Схемы разделительных фильтров.

1 — высокочастотный громкоговоритель; *2* — низкочастотный громкоговоритель; *3* — среднечастотный громкоговоритель.

При этом имеются две частоты разделения: нижняя $f_{р.н}$ и верхняя $f_{р.в}$. Обычно принимают $f_{р.н}=300 \div 600$ *гц*, $f_{р.в}=5\,000$ *гц*.

В высококачественной (особенно профессиональной) аппаратуре вместо разделительных фильтров применяют раздельные каналы усиления низких и высоких частот, нагружаемые каждый на свой громкоговоритель.

Аппаратура с двухканальным усилением низких (до 700 *гц*) и высоких (от 500 до 20 000 *гц*) частот иногда работает с трехполосными акустическими системами, в этом случае выход высокочастотного усилительного канала нагружается в свою очередь на двухполосный разделительный фильтр с частотой разделения $f_р=5\,000$ *гц*.

Применяя многополосные акустические системы, можно добиться довольно ровной частотной характеристики в широком диапазоне частот.

В случае, если описываемые способы не обеспечивают получения необходимой формы частотной характеристики звукового давления, создаваемого акустической системой, можно применить коррекцию частотной характеристики электрического тракта. Такую коррекцию рекомендуется вводить на концах частотного диапазона.

Уменьшить нелинейные искажения громкоговорителей, как и любых излучателей, можно простым способом: уменьшив подводимую к ним электрическую мощность. Для высококачественной РЭА рекомендуется, чтобы номинальная мощность громкоговорителей не менее чем в 3—5 раз превышала выходную мощность усилителя.

Зависимость величины нелинейных искажений от подводимой мощности различна для разных преобразователей. Такая зависимость, например, для громкоговорителя типа 4ГД-28 приведена в табл. 6.

Таблица 6

Зависимость коэффициента нелинейных искажений от подводимой мощности для громкоговорителя 4ГД-28

Подводимая мощность, в долях от номинальной	Коэффициент гармоник в процентах на частотах, *гц*										
	63	80	125	200	400	630	1 000	2 000	4 000	6 300	8 000
1	62	22	3,6	2,8	2,5	5	3	2	1	1,5	1
0,75	60	18	3,2	1,5	2,5	5	3	1,5	1	1,5	1
0,5	55	18	2,8	1,5	2,5	5	3	1,5	1	1	1
0,25	32	12	2,5	1,5	2,5	5	3	1	1	1	1
0,12	27	7	1,8	1,5	2,5	5	3	1	1	1	1

Примечание. Коэффициент гармоник измерялся точно на указанных частотах без допускаемых отступлений на ±15%.

При согласовании параметров громкоговорителей или акустических систем с параметрами усилителей очень часто не обращают внимание на точное согласование их частотных диапазонов. Например, в малогабаритных транзисторных приемниках усилители низкой частоты могут хорошо пропускать полосу частот примерно от 200 до 5 000 *гц*, а малогабаритные громкоговорители, применяемые в этих приемниках, имеют номинальный диапазон частот от 450 до 3 150 *гц*. При этом, если не принять меры по искусственному сужению полосы усилителя, на громкоговоритель будут подаваться частоты, выходящие за пределы его номинального диапазона. Это приведет, кроме ненужной перегрузки звуковой катушки, к увеличению нелинейных искажений, сопровождаемому появлением неприятного хриплого звучания.

Следует также учитывать, что громкоговорители электродинамической системы выпускаются с разными нормами чувствительности в зависимости от рекомендуемого применения. В табл. 7 приведены нормируемые значения звукового давления этих громкоговорителей.

Громкоговорители группы Н наиболее распространены и применяются преимущественно в стационарной аппаратуре с питанием от сети.

Громкоговорители группы П применяются преимущественно в переносной аппаратуре с батарейным питанием или в звуковых колонках.

Громкоговорители группы В, имеющие наряду с высокой чувствительностью большие габариты и массу, применяются в высококачественных автомобильных приемниках и для специальных целей.

При выборе громкоговорителей по чувствительности следует знать, что их масса и цена возрастают примерно пропорционально квадрату увеличения чувствительности (звукового давления).

Для электродинамических диффузорных громкоговорителей установлен ряд номинальных мощностей: 0,025; 0,05; 0,1; 0,25; 0,5; 1; 2; 3; 4; 6; 8; 10 *ва* и ряд номинальных значений модулей полного электрического сопротивления: 2; 4; (4,5); 6,3; 8; 10; 12,5; 16; 30; 60; 100; 400 *ом*. Сопротивление 4,5 *ом* в новых разработках громкоговорителей не применяется.

Таблица 7

Нормируемые значения среднего стандартного звукового давления электродинамических диффузорных громкоговорителей прямого излучения

Группа	Характеристика громкоговорителей по чувствительности	Среднее стандартное звуковое давление, *н/м²*, не менее
Н	Нормальной чувствительности	0,2
П	Повышенной чувствительности	0,3
В	Высокой чувствительности	0,4

Примечание. Громкоговорители номинальной мощности менее 0,1 *ва* должны иметь приведенное среднее стандартное звуковое давление не менее 0,15 *н/м²*

Параметры громкоговорителей других систем в настоящее время стандартами не нормируются, поскольку в подавляющем большинстве аппаратуры применяются только громкоговорители электродинамической системы. Последнее в большинстве случаев вполне оправдано, однако иногда в распространенной аппаратуре вместо электродинамических могут не менее эффективно применяться и громкоговорители других систем. Например, малогабаритные громкоговорители для карманных транзисторных приемников могут вполне иметь электромагнитную систему. При этом они не уступают аналогичным громкоговорителям электродинамической системы по ширине диапазона и неравномерности частотной характеристики и выигрывают по чувствительности и габаритам, что очень важно.

Точно так же высокочастотные громкоговорители электростатической системы для многополосных высококачественных акустических систем обеспечивают более ровную частотную характеристику по сравнению с аналогичными громкоговорителями электродинамической системы и гораздо проще последних по конструкции.

В связи с этим, видимо, следует заниматься вопросами рационального применения громкоговорителей всех систем.

Телефоны применяются в РЭА для индивидуального слушания звуковых передач в том случае, когда громкоговорящий прием невозможен, например в условиях сильного мешающего внешнего шума или в противоположном случае, когда громкие звуки могут оказывать мешающее воздействие на окружающих.

Телефоны обычно выполняются в виде наушников, состоящих из двух капсюлей-преобразователей, снабженных пластмассовым оформлением и пружинящим оголовьем (головные телефоны). Имеются так-

же и одинарные телефоны с одним капсюлем. Для телефонов в принципе могут применяться электроакустические преобразователи электромагнитной, электродинамической и пьезоэлектрической систем. Наибольшее распространение в настоящее время получили телефоны электромагнитной системы, менее распространены телефоны электродинамической системы.

Пьезоэлектрические телефоны почти не применяются, хотя по величине к. п. д., простоте конструкции, габаритам, массе и, следовательно, стоимости они имеют явные преимущества перед электромагнитными и электродинамическими. Это объясняется главным образом недостаточной устойчивостью пьезокристаллов к механическим и климатическим воздействиям и небольшой акустической мощностью, которую они могут отдавать.

До последнего времени телефоны применялись главным образом в аппаратуре проводной связи, маломощных связных радиостанциях и простых экономичных радиоприемниках. На перечисленную аппаратуру не распространяется ГОСТ 11515-65 (см. табл. 2, 3), поэтому требования к параметрам телефонов были невысокими и касались в основном разборчивости речи и необходимой чувствительности. Для выполнения этих требований достаточно было обеспечить диапазон воспроизводимых частот от 300 до 3 000 *гц* при неравномерности частотной характеристики около 3 *дб* и коэффициенте гармоник около 15%. Такими параметрами и обладало большинство телефонов. Однако в связи с повышением требований к качеству бытовой РЭА телефоны стали все более широко применяться как дополнительная принадлежность телевизоров, радиоприемников и магнитофонов. При этом, кроме устранения мешающего действия громкоговорителей на людей, телефоны могут использоваться людьми, имеющими недостаток слуха. Действительно, современные телефонные капсюли, прижатые к ушам, способны развивать в полости уха звуковые давления в десятки $н/м^2$, в то время как громкоговорители при нормальных условиях эксплуатации бытовой РЭА средней мощности — лишь единицы $н/м^2$.

В связи с таким расширением сферы применения телефонов потребовалось значительное улучшение их параметров до уровня электроакустических параметров РЭА, в которой они используются. Современные телефонные капсюли могут обеспечить диапазон воспроизводимых частот от 50—100 до 4 000—6 000 *гц* при неравномерности частотной характеристики 5—10 *дб* и небольших нелинейных искажениях, что соответствует примерно второму классу качества звучания.

Еще более высокие требования стали предъявляться к телефонам после того, как их начали применять в стереофонической аппаратуре. Использование в этой аппаратуре телефонов вместо громкоговорителей значительно повышает стереофонический эффект, так как при этом каждый из двух каналов усилительного тракта работает на отдельный телефонный канал, что делает возможным раздельное восприятие звука правым и левым ухом. Применение телефонов в стереофонической аппаратуре позволяет улучшить восприятие звукового образа и сделать стереоэффект независимым от положения слушателя. Поскольку, однако, стереофоническая аппаратура должна обеспечивать наиболее высокое качество звучания, то и параметры телефонов, используемых в ней, должны соответствовать высшему или, по крайней мере, первому классу качества. Лучшие современные телефоны для прослушивания стереофонических

программ имеют диапазон воспроизводимых частот 20—20 000 *гц* при неравномерности частотной характеристики не более 10 *дб* и незначительных нелинейных искажениях.

СХЕМЫ ВКЛЮЧЕНИЯ ГРОМКОГОВОРИТЕЛЕЙ И ТЕЛЕФОНОВ

Существует большое разнообразие вариантов включения громкоговорителей и телефонов в выходные каскады усилительных трактов РЭА. Наиболее распространенные схемы изображены на рис. 19—22. Любая из схем включения должна обеспечивать оптимальное для конкретных условий согласование электрического сопротивления пре-

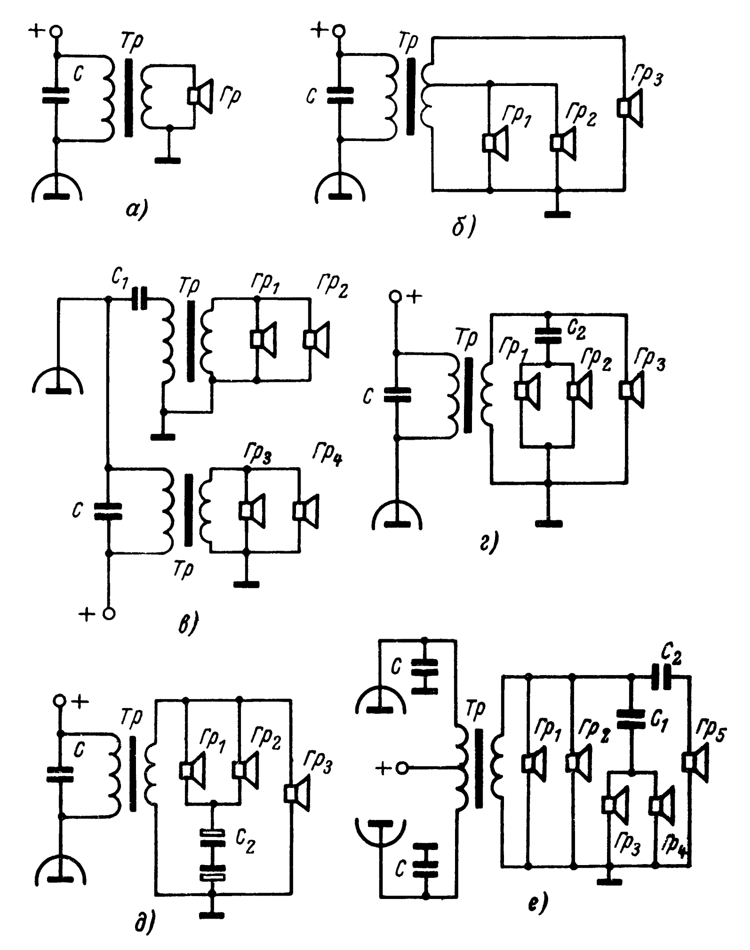
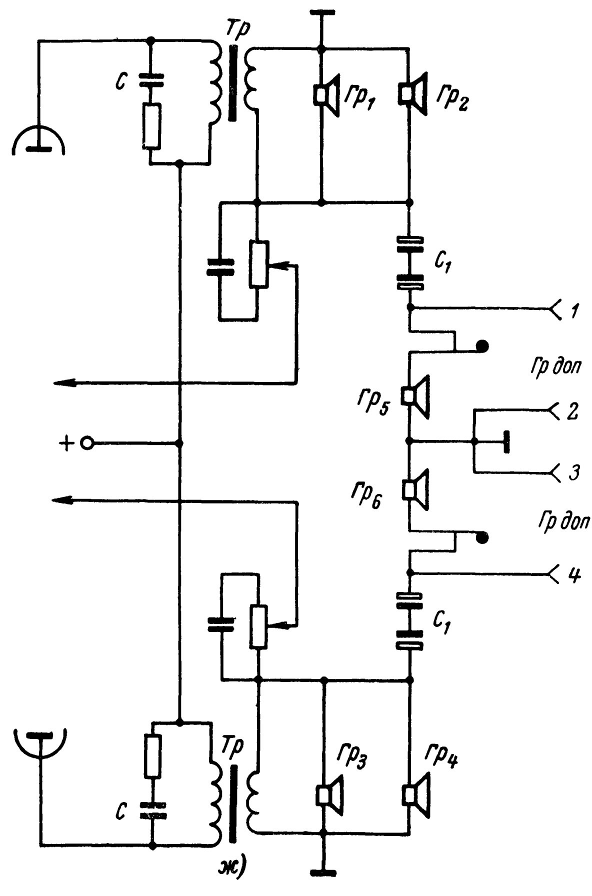


Рис. 19. Схемы включения громкоговорителей

образователя с внутренним сопротивлением электронной лампы или полупроводникового прибора, работающего в выходном каскаде усилителя низкой частоты РЭА, с учетом формулы (26).

Простейшая схема включения громкоговорителя в выходной каскад лампового усилителя показана на рис. 19,*а*. Громкоговоритель *Гр* подключен к вторичной обмотке согласующего (выходного) трансформатора *Тр*. Вторичная обмотка трансформатора обычно соединяется с шасси усилителя, а первичная — шунтируется конденсатором *С* емкостью 2 000—5 000 *пф*.

В случае применения нескольких головок громкоговорителей с различными значениями электрического сопротивления может быть использована схема их включения, изображенная на рис. 19,*б*, где головки $Гр_1$, $Гр_2$ с одинаковым малым сопротивлением, а головка $Гр_3$ — с более высоким. Такая схема включения может быть рекомендована для тех случаев, когда все применяемые головки гром-



в ламповые каскады РЭА.

коговорителей должны работать в одной полосе частот. Если же нужно применить громкоговорители с различными полосами воспроизводимых частот, например низко- и высокочастотные, то можно использовать схемы на рис. 19,*в*, *г*, *д*, где $Гр_1$, $Гр_2$ — головки, воспроизводящие высокочастотную область, а $Гр_3$, $Гр_4$ — низкочастотную область полного диапазона воспроизводимых частот.

В последних трех схемах очень часто для воспроизведения высокочастотной области применяются одноваттные головки типов 1ГД-18, 1ГД-28, 1ГД-36 и т. п., имеющие величину модуля полного электрического сопротивления 6—8 *ом*, а для воспроизведения низкочастотной области — более мощные головки типов 4ГД-7, 4ГД-28 и т. п. При этом величина емкости фильтра C_1 должна быть порядка

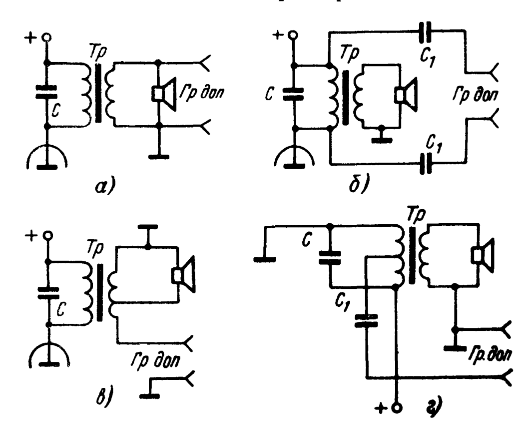


Рис. 20. Схемы включения дополнительных громкоговорителей.

5 000 *пф*, а C_2 — порядка 2 *мкф*. В схеме (рис. 19, *д*) в отличие от схемы (рис. 19,*г*) в качестве емкости используются вместо бумажного конденсатора два электролитических, включенных встречно. Это значительно уменьшает габариты фильтра.

В схеме рис. 19,*е* применены три группы головок громкоговорителей: низкочастотные $Гр_1$, $Гр_2$, среднечастотные $Гр_3$, $Гр_4$ и высокочастотная $Гр_5$. В этом случае емкость конденсатора C_2 составляет около 0,5 *мкф*. Такие схемы применяются обычно с мощными двухтактными выходными каскадами усилителей, поскольку общая мощность громкоговорителей превышает 10 *вт*.

В случае двухканального, например стереофонического, усилительного тракта могут применяться схемы включения громкоговорителей, аналогичные изображенной на рис. 19, *ж*. В этой схеме в низкочастотной области воспроизводимого диапазона работают головки громкоговорителей $Гр_1$—$Гр_4$, а в высокочастотной — $Гр_5$, $Гр_6$, которые могут отключаться при подключении дополнительных выносимых громкоговорителей к гнездам 1—2 и 3—4.

Распространенные схемы включения дополнительных выносных громкоговорителей приведены на рис. 20. Схема на рис. 20,*а* используется в случае применения низкоомных дополнительных громкого-

ворителей, а схемы на рис. 20,*б*, *в*, *г* — для высокоомных, снабженных собственными согласующими (входными) трансформаторами.

В гнезда, предназначенные для дополнительных громкоговорителей, могут также включаться и телефоны. Однако в большинстве случаев при включении телефонов основные громкоговорители выключаются, а для того, чтобы при этом не нарушался режим работы выходного каскада усилителя, вторичная обмотка выходного трансформатора *Тр* нагружается на эквивалентное активное сопротивление *R*. Такая схема изображена на рис. 21,*а*.

Если дополнительные гнезда в схемах рис. 20 используются только для подключения телефонов, то емкость конденсаторов C_1 может быть уменьшена до величины 0,01—0,05 *мкф*.

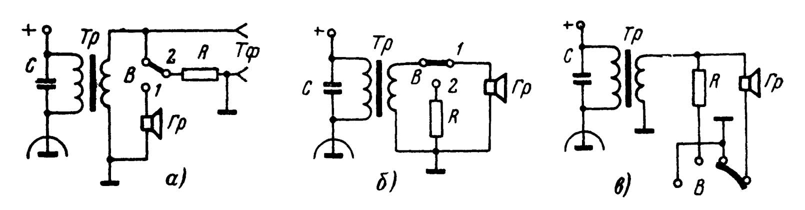


Рис. 21. Схемы включения громкоговорителей и телефонов, применяемые в телевизорах и магнитофонах.

Следует отметить, что при применении телефонов в схемах РЭА, у которой шасси находится под напряжением сети (например, в телевизорах с автотрансформаторной схемой питания), оба дополнительных гнезда в целях обеспечения безопасности должны подключаться через конденсаторы, рассчитанные на рабочее напряжение не менее 400 *в*.

Схемы (рис. 21,*б* *в*) применяются в магнитофонах, у которых громкоговорители должны отключаться, например при перемотке ленты. При отключении громкоговорителя переключатели *В* в этих схемах нагружают вторичные обмотки выходных трансформаторов *Тр* на сопротивления *R*, эквивалентные электрическому сопротивлению громкоговорителей. Схема (рис. 21,*в*) предпочтительнее схемы (рис. 21,*б*), поскольку в ней применен безразрывный переключатель, устраняющий возможные скачки напряжений в момент переключения.

Распространенные схемы включения громкоговорителей и телефонов для транзисторных радиоприемников приведены на (рис. 22). В схеме (рис. 22,*а*) при включении телефона *Тф* в специальное телефонное гнездо цепь громкоговорителя размыкается. Это одна из схем, часто применяемых в переносных транзисторных приемниках с относительно мощным двухтактным выходным каскадом. Схемы (рис. 22,*б* *в*) применяются для включения телефонов в маломощные выходные каскады карманных приемников. Обе эти схемы равноценны. Схема (рис. 22,*г*) позволяет очень экономно расходовать питание, так как при работе на телефон мощный выходной каскад может отключаться от источника питания. Кроме этого, схема характерна применением громкоговорителя с выводом средней точки от звуковой катушки. Если при этом электрическое сопротивление звуковой катушки равно нескольким десяткам ом, то можно обойтись без выходного трансформатора.

При включении телефонов электромагнитной системы в схемы (рис. 22,*б в, г*) следует соблюдать полярность; в противном случае возможно частичное размагничивание поляризующего магнита и вследствие этого снижение чувствительности.

В этом параграфе не рассматривались схемы включения громкоговорителей, содержащие разделительные фильтры с дросселями (рис. 18), поскольку они упоминались ранее. Отметим, что разделительные фильтры с дросселями обеспечивают более высокое качество воспроизведения звука, но вместе с тем они значительно дороже емкостных фильтров (рис. 19) и поэтому применяются в специальной высококачественной аппаратуре.

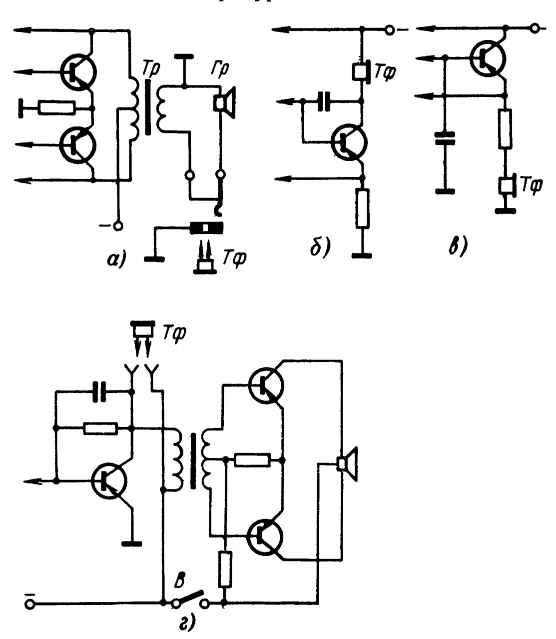


Рис. 22. Схемы включения громкоговорителей и телефонов в транзисторные каскады РЭА.

Кроме приведенных выше схем включения громкоговорителей в настоящее время довольно широко распространены аналогичные схемы, в которых однотипные головки включены не параллельно, а последовательно. Последовательное включение наряду с некоторыми преимуществами перед параллельным (более тонкий провод вторичной обмотки согласующего трансформатора, меньшая емкость конденсаторов в фильтрах) имеет два крупных недостатка: снижение эксплуатационной надежности и ухудшение качества звучания РЭА.

Действительно, в соответствии с теорией надежности вероятность p_{Σ} того, что хотя бы один из двух одинаковых элементов электрической цепи будет работать, при последовательном соединении

этих элементов определяется выражением $p_\Sigma = p_i^2$, а при параллельном соединении $p'_\Sigma = 2p_i - p_i^2$, где p_i — вероятность безотказной работы одного элемента.

Среднее значение вероятности безотказной работы распространенных головок громкоговорителей составляет $p_i = 0{,}8$ за 1 000 *ч*. При этом $p'_\Sigma / p_\Sigma = 1{,}5$, т. е. в данном случае надежность цепи, состоящей из двух головок громкоговорителей, при их параллельном включении в 1,5 раза выше, чем при последовательном включении.

Качество звучания параллельно включенных головок громкоговорителей повышается по сравнению с последовательным включением за счет взаимного шунтирования их звуковых катушек, что подробнее будет рассмотрено ниже.

Отсюда следует, что последовательное включение головок громкоговорителей в схемах РЭА нежелательно.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

КЛАССИФИКАЦИЯ ГРОМКОГОВОРИТЕЛЕЙ И ТЕЛЕФОНОВ ПО ЭЛЕКТРОАКУСТИЧЕСКИМ ПАРАМЕТРАМ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ

НИЗКОЧАСТОТНЫЕ ГРОМКОГОВОРИТЕЛИ

Деление громкоговорителей на низкочастотные, среднечастотные и высокочастотные весьма условно и постепенно изменяется в связи с усовершенствованием конструкций громкоговорителей и практическим овладением все более низких и более высоких частот звукового диапазона.

В настоящее время можно отнести к низкочастотным громкоговорители с частотой резонанса от 63 *гц* и ниже. Такие громкоговорители могут обеспечить в акустических системах РЭА эффективное воспроизведение звуковых частот от 30—60 *гц* и выше в диапазоне 5—6 октав.

В качестве низкочастотных громкоговорителей в настоящее время применяются только громкоговорители электродинамической системы прямого излучения.

В принципе для воспроизведения низших частот могут быть применены громкоговорители любых систем. Например, излучающая площадь электростатического громкоговорителя, необходимая для того, чтобы получить в среднем такое же звуковое давление, как у электродинамических громкоговорителей, для частоты $f_н = 63$ *гц* должна быть около 2 *м*². Такие громкоговорители могут быть изготовлены в настоящее время.

Необходимость в большой излучающей площади для электростатических громкоговорителей объясняется тем, что их конструкция не позволяет получать большие амплитуды колебаний излучающего элемента. Поэтому амплитуда колебательной скорости v (которую можно определить как произведение амплитуды колебаний на круговую частоту) для этих громкоговорителей невелика и, следовательно, невелика удельная излучаемая акустическая мощность, определяемая выражением (7).

Как отмечалось ранее, в преобразователях электромагнитной и пьезоэлектрической систем также невозможно получить больших амплитуд колебаний излучающих элементов. Следовательно, для низкочастотных громкоговорителей этих систем требуется излучающая площадь примерно такого же порядка, как и для громкоговорителей электростатической системы, что невозможно выполнить конструктивно в одном громкоговорителе. Однако из этого не следует, что для воспроизведения низших частот эти громкоговорители не могут быть применены. Поскольку большую площадь излучающей поверхности можно получить путем синфазного включения нескольких близко расположенных излучателей, то для воспроизведения низших частот можно применять групповые излучатели, состоящие из нескольких громкоговорителей.

Например, громкоговорители с низшей частотой 60 *гц* при соединении в группу из четырех штук и при подведении мощности, равной номинальной мощности одного громкоговорителя, обеспечивают низшую частоту около 40 *гц*.

Следовательно, вопрос о применении для воспроизведения низших частот громкоговорителей определенной системы сводится в основном к вопросу экономическому: что выгоднее? В этом отношении неоспоримые преимущества остаются пока за громкоговорителями электродинамической системы.

Основные электроакустические и магнитные параметры распространенных в настоящее время назкочастотных громкоговорителей приведены в табл. 8.

Таблица 8

Электроакустические и магнитные параметры низкочастотных электродинамичееких диффузорных громкоговорителей прямого излучения

Тип головки	Номинальная мощность, $P_{ном}$, *ва*	Частота резонанса f_0, *гц*	Номинальный диапазон частот $f_н-f_в$, *гц*	Неравномерность частотной характеристики N, *дб*, не более	Среднее стандартное звуковое давление $P_{ср.ст}$, *н/м²*, не менее	Модуль полного электрического сопротивления $\|Z_{1000}\|$, *ом*	Индукция в рабочем зазоре магнитной системы $B_з$, *вб/м²*
4ГД-5	4	45±10	63—5 000	10	0,3	8	0,97
6ГД-1	6	48±8	60—6 500	15	0,3	7	0,9
6ГД-2	6	30±5	40—1 000	15	0,3	8	0,95
8ГД-1	8	25±5	40—1 000	10	0,2	8	0,87
10ГД-29	10	30±5	50—5 000	15	0,25	4,5	0,8
10ГД-30	10	28±5	63—5 000	15	0,17	8	1,2

Примечание. Все низкочастотные громкоговорители выпускаются в ограниченных количествах для применения в конкретных разработках РЭА.

Громкоговорители, приведенные в табл. 8, применяются: 4ГД-5 — в транзисторных радиоприемниках первого класса «Рига-102» и «Рига-103»; 6ГД-1 — в радиоприемнике высшего класса «Фестиваль»; 6ГД-2 — в радиоле высшего класса «Симфония»; 8ГД-1 — в стереофонической радиоле высшего класса «Виктория»; 10ГД-29 — в высо-

кокачественных акустических системах специального назначения; 10ГД-30 — в малогабаритных высококачественных акустических системах.

Следует отметить, что частота резонанса громкоговорителей электродинамической системы зависит от величины подводимой электрической мощности. При снижении подводимой мощности частота резонанса несколько уменьшается.

При применении низкочастотных громкоговорителей главной проблемой является их акустическое оформление. Реализовать все возможности воспроизведения низших частот можно лишь при условии размещения громкоговорителя в большом экране или ящике, исключающем влияние излучения обратной стороны диффузора.

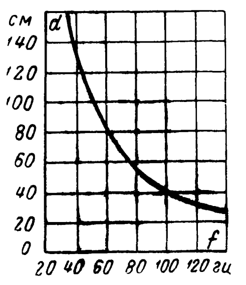


Рис. 23. График зависимости наименьших размеров акустического экрана от частоты.

Рекомендуемые наименьшие размеры плоского акустического экрана можно определить в зависимости от низшей частоты, эффективно воспроизводимой громкоговорителем, по графику (рис. 23).

Следует учитывать, что симметричный экран (круг, квадрат) приводит к появлению в частотной характеристике звукового давления громкоговорителя резких глубоких провалов, обусловленных интерференционными явлениями. В связи с этим экран и расположение в нем отверстия для громкоговорителя должны быть асимметричными.

Влияние размеров акустического экрана на частотную характеристику установленного в нем громкоговорителя иллюстрируется рис. 24.

Анализ кривых на рис. 24 показывает, что на низших частотах, где длина звуковой волны соизмерима с размерами экрана, происходит подъем частотной характеристики звукового давления. Этот подъем можно определить по формуле

$$N = 20 \lg \frac{D}{d}, \qquad (27)$$

где N — подъем частотной характеристики, *дб*; D — диаметр экрана; d — диаметр диффузора громкоговорителя.

Если экран имеет форму, отличную от круга, то для формулы (27) берется условный диаметр равновеликого круга.

Практически громкоговорители удобнее располагать не в плоском экране, а в ящике, служащем одновременно футляром для размещения элементов схемы РЭА. При этом ящик может иметь как открытую, так и закрытую заднюю стенку. Ящики радиоприемников и телевизоров, имеющие тонкие перфорированные задние стенки, считают открытыми. Закрытой задней стенкой можно считать лишь толстую плотно подогнанную стенку, исключающую проникновение звуковых волн изнутри ящика.

Ящик с открытой задней стенкой конструктивно можно рассматривать как сложенный в коробку экран. Однако по акустическому эффекту это не так. Боковые стенки ящика оказывают меньше влияния на подъем частотной характеристики в области низших частот, чем его передняя стенка. Можно считать, что боковая стенка

как бы увеличивает размеры передней стенки только до определенной глубины ящика. Если размер передней стенки *a* и глубина ящика *b*, то такой ящик считают эквивалентным экрану с размером стороны *a*+2*b* только при условии

$$b \leqslant \frac{42,5}{f_н} = 0,125\lambda_н, \qquad (28)$$

где $f_н$ — низшая эффективно воспроизводимая частота, *гц*; $\lambda_н$ — соответствующая наибольшая длина излучаемой звуковой волны, *м*.

Увеличение глубины ящика больше, чем этого требует условие (28), практически не влияет на подъем низших частот.

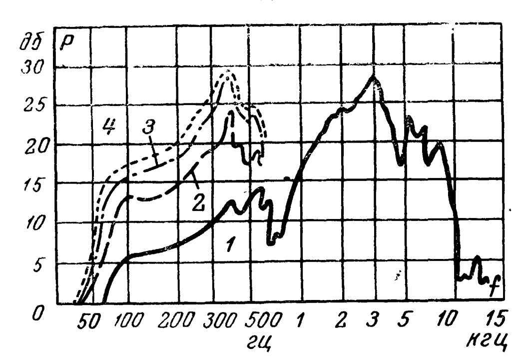


Рис. 24. Частотные характеристики звукового давления громкоговорителя.

1 — громкоговоритель диаметра *d* без экрана; *2* — тот же громкоговоритель в квадратном экране с размером стороны 2*d*: *3* — то же при размере стороны экрана 3,3*d*; *4* — то же при размере стороны экрана 4*d*.

Как видно из графика (рис. 23) и выражения (28), размеры акустического оформления, открытого с задней стороны (экран, ящик без задней стенки), необходимые для эффективного воспроизведения низших частот, весьма велики. Размеры ящика могут быть значительно уменьшены, если исключить влияние противофазного излучения обратной стороны диффузора громкоговорителя при размещении последнего в ящике с закрытой задней стенкой. Это приводит, однако, к повышению резонансной частоты громкоговорителя за счет влияния упругости объема воздуха внутри ящика.

Для обычных низкочастотных громкоговорителей, применяемых в акустических системах с закрытым объемом, рекомендуется следующее соотношение $V \approx 125\, D_и^2$, где V — объем ящика, *см*^{3}; $D_и$ — диаметр диффузора громкоговорителя, *см*.

Стенки ящика у такой акустической системы должны быть толстыми (10—30 *мм*), плотными и оклеенными хорошим звуко- и вибропоглощающим материалом.

В последнее время получают все большее распространение малогабаритные акустические системы с закрытыми объемами (МАС), в которых хорошее воспроизведение низших частот обеспечивается применением специальных головок громкоговорителей.

Головки для малогабаритных акустических систем с закрытыми объемами должны иметь диффузоры малых диаметров. Кроме того, для получения более низкой резонансной частоты необходимы большая активная масса и малая упругость подвеса подвижной системы.

Низкочастотные громкоговорители обычно располагают в нижней части передней стенки акустического ящика, хотя место их расположения принципиального значения не имеет, поскольку характеристика направленности излучения у этих громкоговорителей мало отличается от окружности.

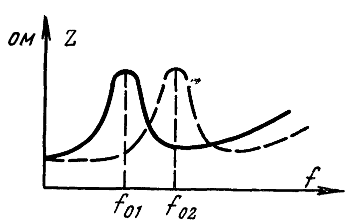


Рис. 25. График, поясняющий выбор частот резонанса двух однотипных громкоговорителей, работающих в одной акустической системе.

При применении в одной акустической системе нескольких низкочастотных громкоговорителей с одинаковым электрическим сопротивлением звуковых катушек их соединение предпочтительнее выполнять параллельным. При этом происходит взаимное электрическое демпфирование громкоговорителей, что уменьшает длительность переходных процессов в их подвижных системах и улучшает в связи с этим качество звучания. Частоты резонанса отдельных громкоговорителей в этом случае должны быть различны и выбраны так, чтобы частотные характеристики модулей их полного электрического сопротивления пересекались при малых значениях $|Z_э|$ (рис. 25).

Продолжительность переходных процессов или собственных затухающих колебаний диффузора на частоте резонанса зависит от добротности Q громкоговорителя, определяемой выражением

$$Q=\frac{2\pi f_0 mR}{B_з^2 l^2}, \qquad (29)$$

где m — активная масса, *кг*; R — электрическое сопротивление звуковой катушки, *ом*; $B_з$ — индукция в рабочем зазоре магнитной цепи, *вб/м²*; l — активная длина провода звуковой катушки, *м*.

При значениях добротности 0,5 и менее собственные колебания подвижной системы не возникают и переходной процесс становится апериодическим. При этом искажения, вносимые громкоговорителем, уменьшаются, однако уменьшается и величина звукового давления на частотах в области резонанса (рис. 26, кривая *1*). При значении добротности более 2 звуковое давление на частоте резонанса значительно возрастает, но на более высокой частоте (примерно 1,5 f_0) резко падает, а затем снова возрастает (рис. 26, кривая 2).

Громкоговорители с высокой добротностью при работе контрастно подчеркивают «басы», причем это подчеркивание часто сопровождается большими искажениями (неприятный хриплый звук). Исходя из этого наиболее оптимальной величиной добротности низкочастотных громкоговорителей, следует считать $Q=1\div1,5$.

Значения добротности громкоговорителей в справочной литературе не приводятся, однако определить добротность для конкретного громкоговорителя можно по формуле (29). При этом значения f_0 и R можно измерить непосредственно, $B_з$ — взять из справочных данных, а активную длину провода и массу определить экспериментально.

Определение активной длины провода можно выполнить следующим образом [Л. 15]. Громкоговоритель ставят горизонтально вверх диффузором и фиксируют положение какой-либо точки диффузора около звуковой катушки (например, при помощи рейсмуса). Затем диффузор нагружают грузом и к выводам звуковой катушки через миллиамперметр и реостат подключают источник постоянного тока. Направление и силу тока устанавливают такими, чтобы диффузор, просевший вниз под действием груза, восстановил свое первоначальное положение. При этом фиксируют ток, протекающий через звуковую катушку, по показанию миллиамперметра. Активную длину провода звуковой катушки определяют по следующей формуле:

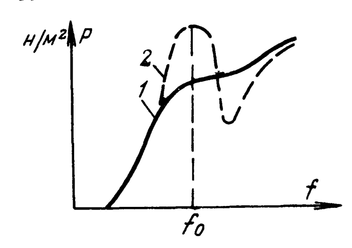


Рис. 26. Частотные характеристики звукового давления электродинамических громкоговорителей в области резонанса.

$$l = \frac{9,81 m_г}{I B_з},$$

где l — активная длина провода, *м*; $m_г$ — масса груза, *кг*; I — ток, протекающий через звуковую катушку, *а*; $B_з$ — индукция в рабочем зазоре, магнитной цепи, *вб/м²*.

Активную массу определяют по изменению частоты механического резонанса громкоговорителя. Для этого измеряют частоту резонанса f_0 громкоговорителя (в ящике). Затем около вершины диффузора прикрепляют груз симметрично оси диффузора (например, кольцо или шарики из пластилина) и вторично измеряют частоту резонанса f'_0. Активную массу m находят по следующей формуле:

$$m = \frac{m_г}{\left(\frac{f_0}{f'_0}\right)^2 - 1}, \ кг,$$

где $m_г$ — масса груза, *кг*; f_0, f'_0 — частота, *гц*.

В заключение этого параграфа отметим, что от правильного применения низкочастотных громкоговорителей в акустических системах в значительной степени зависит субъективное восприятие качества звучания художественных музыкальных программ. Например, на рис. 27 приведены частотные характеристики звукового дав-

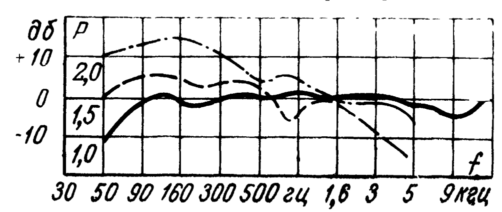


Рис. 27. Частотные характеристики звукового давления трех акустических систем с различным характером воспроизведения низших частот.

ления трех акустических систем с указанием «коэффициента предпочтительности» при субъективном прослушивании.

Коэффициент 1 соответствует эталонной акустической системе с почти ровной частотной характеристикой звукового давления. Коэффициент 1, 5, соответствующий акустической системе с частотной характеристикой, несколько поднятой в области низших частот, показывает, что звучанию этой акустической системы отдали предпочтение при прослушивании в 1,5 раза больше слушателей, чем эталонной системе. Коэффициент 2, соответствующий акустической системе с еще большим подъемом низших частот, показывает, что звучанию этой системы отдали предпочтение в 2 раза больше слушателей, чем эталонной, несмотря даже на значительный спад частотной характерстики в области высших частот.

СРЕДНЕЧАСТОТНЫЕ ГРОМКОГОВОРИТЕЛИ

К среднечастотным относят громкоговорители с номинальным диапазоном частот не более 4—4,5 октав (примерно от 200—400 до 5 000—7 000 *гц* и уже).

В качестве среднечастотных в принципе могут быть использованы громкоговорители всех систем, однако наибольшее распространение получили электродинамические громкоговорители как прямого излучения, так и рупорные. Менее распространены электростатические громкоговорители, хотя по рекламным данным зарубежных фирм они в последние годы начинают успешно конкурировать с электродинамическими.

Действительно, для низшей частоты среднечастотного диапазона, например 500 *гц*, площадь излучающей поверхности электростатического громкоговорителя составляет примерно 0,04 *м²*. Размеры такого громкоговорителя примерно равны 250×250 *мм* при небольшой глубине, что соизмеримо с размерами электродинамических громкоговорителей. При этом стоимость электростатического громкоговорителя имеет тот же порядок, что и стоимость электродинамического, а акустические параметры и особенно качество звучания — гораздо выше.

Громкоговорители электромагнитной системы, особенно в малогабаритном исполнении, вполне могут соперничать с электродинамическими в области средних частот. Такие громкоговорители имеют удовлетворительные параметры в диапазоне частот примерно от 200 до 4 000 *гц* при сравнительно невысокой стоимости.

Громкоговорители пьезоэлектрической системы, в принципе пригодные для воспроизведения средних частот, но имеющие два крупных недостатка: малую мощность и низкую тепловую и механическую прочность, не могут конкурировать с электродинамическими, электростатическими и электромагнитными и практического применения в настоящее время не находят.

Электроакустические и магнитные параметры распространенных среднечастотных громкоговорителей приведены в табл. 9, 10.

Громкоговоритель 0,05ГД-1 применяется в плоских малогабаритных карманных приемниках с двухтактным бестрансформаторным выходным каскадом. Это самый миниатюрный электродинамический громкоговоритель.

Громкоговорители мощностью до 0,1 *ва* включительно применяются в карманных транзисторных приемниках; среди них 0,05ГД-2 предназначен для схем с трансформаторным выходом, а осталь-

Таблица 9

Электроакустические и магнитные параметры среднечастотных элекродинамических диффузорных громкоговорителей прямого излучения

Тип головки	Номинальная мощность $P_{ном}$, *ва*	Частота резонанса f_0, *гц*	Номинальный диапазон частот, $f_н$—$f_в$, *гц*	Неравномерность частотной характеристики N, *дб*, не менее	Среднее стандартное звуковое давление $P_{ср.ст}$, *н/м²*, не менее	Модуль полного электрического сопротивления $\vert Z_{1000} \vert$, *ом*	Индукция в рабочем зазоре магнитной системы $B_з$, *вб/м²*
0,025ГД-2	0,025	500±50	1000—3 000	18	0,15	60	0,6
0,05ГД-1	0,05	600±100	700—2 500	18	0,15	60*	0,6
0,5ГД-2	0,05	600±100	700—2 500	18	0,15	6,3	0,6
0,1ГД-3М	0,1	550±50	630—3 150	18	0,18	10	0,62
0,1ГД-6	0,1	430±50	450—3 150	18	0,23	10	0,75
0,1ГД-12	0,1	430±50	450—3 150	18	0,2	10	0,7
0,1ГД-13	0,1	430±50	450—3 150	18	0,18	60	0,62
0,25ГД-1	0,25	310±50	315—3 550	15	0,25	10	0,75
0,25ГД-2	0,25	310±50	315—7 000	15	0,27	10	0,8
0,25ГД-10	0,25	290±60	350—3 550	15	0,24	10	0,8
0,5ГД-10	0,5	150±30	200—6 300	15	0,23	6,3	0,65
0,5ГД-12	0,5	150±30	200—6 300	15	0,23	6,3	0,65
0,5ГД-17	0,5	400±70	315—5 000	15	0,3	8	1,05
0,5ГД-20	0,5	270±50	315—5 000	15	0,3	8	1,05
0,5ГД-21	0,5	270±30	315—7 000	15	0,3	8	1,05
1ГД-30	1	140±10	160—5 000	15	0,25	5,5	0,8
3ГД-1	3	120±20	200—5 000	15	0,25	8	0,85
4ГД-6	4	160±30	200—5 000	10	0,2	8	0,85

* Звуковая катушка имеет отвод от средней точки.

Примечания: 1. В новых разработках РЭА вместо громкоговорителей 0,025ГД-2; 0,05ГД-1; 0,05ГД-2; 0,1ГД-6; 0,25ГД-1; 0,5ГД-10. 0,5ГД-12; 0,5ГД-17; 0,5ГД-20; 1ГД-30 рекомендуется применять громкоговорители 0,1ГД-3М; 0,1ГД-13; 0,25ГД-10; 0,5ГД-21; 0,5ГД-30; 0,5ГД-31:
2. Громкоговорители 3ГД-1 и 4ГД-6 выпускаются в ограниченных количествах для применения в конкретных разработках РЭА.

ные — для схем с бестрансформаторными выходными каскадами.

Громкоговорители мощностью 0,25 *ва* применяются в малогабаритных переносных транзисторных приемниках и магнитофонах, среди них 0,25ГД-2 — в приемниках с УКВ диапазоном.

Таблица 10

Электроакустические параметры распространенных рупорных электродинамических громкоговорителей

Тип	Номинальная мощность $P_{ном}$, *ва*	Номинальный диапазон частот $f_н$—$f_в$, *гц*	Неравномерность частотной характеристики *N*, *дб*, не более	Среднее стандартное звуковое давление $p_{ср.ст}$, $н/м^2$, не менее	Модуль полного электрического сопротивления $\|Z_{1000}\|$, *ом*	Коэффициент гармонических нелинейных искажений $k_г$, %, не более
10ГРД-5	10	200—4 000	18	1,3	$\frac{90\pm15\%}{1440\pm15\%}$	7
10ГРД-6	10	500—3 550	15	1,5	$\frac{90\pm15\%}{1440\pm15\%}$	10
25ГРД-2	25	100—6 000	15	0,8	$\frac{36\pm15\%}{580\pm15\%}$	7
25ГРД-5	25	500—3 550	15	1,5	$\frac{36\pm15\%}{580\pm15\%}$	10
25ГРД-8РВ	25	500—4 000	18	1,2	$\frac{36\pm15\%}{90\pm15\%}$	10
25ГРД-7ВЗГ	25	500—4 000	18	1,2	$\frac{36\pm15\%}{—}$	10
50ГРД-10	50	120—6 000	15	0,7	$\frac{18\pm10\%}{288\pm10\%}$	7
100ГРД-1	100	120—5 500	15	1,5	$\frac{9\pm15\%}{144\pm15\%}$	7

Примечание. В графе „Модуль полного электрического сопротивления" в числителе указано сопротивление при напряжении 30 *в*, а в знаменателе — при напряжении 120 *в*.

Громкоговорители мощностью 0,5 *ва* применяются в переносной и стационарной малогабаритной РЭА бытового назначения, среди них громкоговорители 0,5ГД-17; 0,5ГД-30; 0,5ГД-31 — в малогабаритных телевизорах, а 0,5ГД-21 — в приемниках с УКВ диапазоном и высококачественных малогабаритных магнитофонах.

Громкоговорители 3ГД-1 и 4ГД-6 применяются как среднечастотные в высококачественных стационарных радиоприемниках, радиолах и выносных акустических системах, 4ГД-6 подключаются к выходным каскадам усилителей через разделительные фильтры. Эти громкоговорители обладают заметной направленностью излучения звука, в связи с чем их располагают в центральной части передней стенки акустической системы. Остальные рекомендации

по применению среднечастотных электродинамических громкоговорителей прямого излучения те же, что и для низкочастотных.

Ко второй группе среднечастотных громкоговорителей относятся электродинамические рупорные громкоговорители.

Воспроизведение низших частот рупорными громкоговорителями зависит от размеров рупора. Длина экспоненциального рупора, обеспечивающего эффективное воспроизведение частот ниже 100 *гц*, превышает 1 *м*, что неудобно и дорого. В связи с этим рупорные громкоговорители выпускаются, в основном, как среднечастотные.

Рупорные громкоговорители обладают высоким к. п. д. и большой мощностью, что позволяет наиболее эффективно применять их для целей озвучивания больших открытых пространств: площадей, парков, стадионов и т. п., а также для целей производственной звуковой связи.

Электроакустические параметры распространенных рупорных электродинамических громкоговорителей приведены в табл. 10.

Громкоговорители 10ГРД-5; 25ГРД-12; 50ГРД-10; 100ГРД-1 применяются для озвучения при нормальных внешних условиях как закрытых помещений, так и открытых пространств.

Громкоговорители 10ГРД-6 и 25ГРД-5 применяются на объектах с содержанием в окружающем воздухе пыли и ферромагнитных частиц.

Громкоговорители 25ГРД-8РВ применяются в системах производственной связи на объектах с содержанием в окружающем воздухе взрывоопасных примесей.

Громкоговорители 25ГРД-7ВЗГ применяются в системах шахтной связи с возможным содержанием рудничного газа в окружающем воздухе.

Громкоговорители 10ГРД-5; 10ГРД-6; 25ГРД-5; 25ГРД-8РВ; 25ГРД-7ВЗГ применяются для воспроизведения речи. Использование этих громкоговорителей для воспроизведения музыкальных программ не рекомендуется в связи с невысокими акустическими параметрами.

Для воспроизведения музыкальных программ можно применять громкоговорители 25ГРД-2; 50ГРД-10; 100ГРД-1. При этом можно получить удовлетворительное звучание. Для качественного воспроизведения музыкальных программ приведенные в табл. 10 громкоговорители не применяются.

ВЫСОКОЧАСТОТНЫЕ ГРОМКОГОВОРИТЕЛИ

К высокочастотным относят громкоговорители, имеющие номинальный диапазон частот от 1 000—5 000 до 12 500—20 000 *гц*.

В качестве высокочастотных громкоговорителей могут применяться электродинамические, электростатические, пьезоэлектрические и ионные громкоговорители. Наибольшее распространение в настоящее время получили электродинамические и электростатические громкоговорители. Перспективными можно считать громкоговорители ионного действия.

В связи с тем что высокочастотные громкоговорители применяются только в акустических системах высшего класса, число их типов невелико.

Электроакустические параметры отечественных высокочастотных громкоговорителей приведены в табл. 11.

Головки 1ГД-3 и 3ГД-1 применяются в качестве высокочастотных в радиоприемниках и радиолах высшего класса «Рига-102»,

«Симфония», «Виктория» и высококачественных акустических системах специального назначения. Эти громкоговорители включаются через разделительные фильтры, схемы которых приведены на рис. 18, 19.

Таблица 11

Электроакустические параметры высокочастотных громкоговорителей

Тип головки	Номинальная мощность, $P_{ном}$, *ва*	Номинальный диапазон частот $f_н—f_в$, *гц*	Неравномерность частотной характеристики *N*, *дб*, не более	Среднее стандартное звуковое давление $p_{ср.ст}$, *н/м²*, не менее	Модуль полного электрического сопротивления $\lvert Z_{в\,300} \rvert$, *ом*	Система громкоговорителя
1ГД-3	1	5 000—18 000	12	0,3	12,5	Электродинамическая
2ГД-36	2	2 000—20 000	15	0,2	8	То же
3ГД-2	3	5 000—16 000	10	0,25	16	» »
ГСВ-1	—	5 000—20 000	6	0,3	—	Электростатическая

Примечание. Модуль полного электрического сопротивления высокочастотных громкоговорителей электродинамической системы указан для частоты 6 300 *гц*.

Высокочастотные громкоговорители 2ГД-36 и ГСВ-1 разрабатываются для применения в высококачественных телевизорах и акустических системах специального назначения.

Отличительной чертой высокочастотных громкоговорителей является очень острая характеристика направленности их излучения. Для получения более широкой характеристики направленности в акустической системе обычно используются несколько высокочастотных громкоговорителей, рабочие оси которых разнесены на некоторое расстояние или находятся под углом друг к другу (громкоговорители развертывают «веером»).

Форму характеристики направленности громкоговорителя на определенной частоте f приближенно можно определить по графику (рис. 28) в зависимости от отношения $f/f_{кр}$. При этом критическую частоту $f_{кр}$ можно вычислить по формуле (9).

Для нескольких однотипных громкоговорителей, расположенных в ряд на одинаковом расстоянии друг от друга, характеристику направленности можно вычислить по следующей формуле:

$$p_\alpha = \frac{\sin \dfrac{n\pi l \cos\alpha}{\lambda}}{n \sin \dfrac{\pi l \cos\alpha}{\lambda}};$$

где p_α — относительный уровень звукового давления в точке, находящейся под углом α к линии громкоговорителей, n — число громкоговорителей; l — расстояние между громкоговорителями, *см*; λ — длина звуковой волны, *см*.

При применении высокочастотных громкоговорителей в акустических системах РЭА следует иметь в виду, что их размещение в ящиках вместе с мощными низко- или среднечастотными громкоговорителями может вызвать ухудшение эффективности воспроизведения высоких частот и появление интермодуляционных нелинейных искажений в области высоких частот. Причина этого заключается в том, что мощные низкочастотные громкоговорители при работе создают довольно значительные периодические сжатия и разрежения воздуха внутри ящика. Под действием перепада давлений внутри и снаружи ящика подвижные системы менее мощных высокочастот-

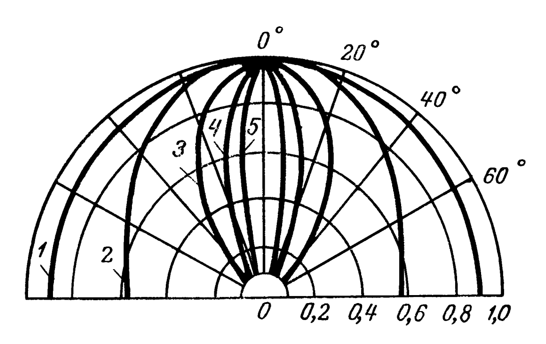


Рис. 28. Теоретические характеристики направленности излучения круглого колеблющегося диска.

1 — на критической частоте $f_{кр}$; 2 — на частоте $2f_{кр}$; 3 — на частоте $4f_{кр}$; 4 — на частоте $8f_{кр}$; 5 — на частоте $16f_{кр}$.

ных громкоговорителей могут изменять свое положение, а вместе с ним и характеристики излучения, что приводит к модуляции высокочастотных составляющих воспроизводимого сигнала его низкочастотными составляющими.

В связи с этим высокочастотные громкоговорители размещают в специальных отдельных отсеках общего ящика или закрывают их металлическими колпаками, снабженными прокладками для плотного прилегания к отражательной доске.

Для повышения эффективности воспроизведения высших частот высокочастотные головки громкоговорителей часто снабжают рупорами, длина которых может быть в этом случае незначительной.

Необходимую длину экспоненциального рупора высокочастотного громкоговорителя можно вычислить по следующей формуле:

$$l = \frac{6\,200}{f_н} \lg \frac{S_в}{S_0},$$

где l — длина рупора, *см*; $f_н$ — нижняя эффективно воспроизводимая частота, *гц*; $S_в$ — площадь выходного отверстия рупора; S_0 — площадь входного отверстия рупора.

При этом периметр выходного отверстия не должен быть меньше длины звуковой волны, соответствующей низшей воспроизводимой частоте.

ШИРОКОПОЛОСНЫЕ ГРОМКОГОВОРИТЕЛИ

К широкополосным можно отнести громкоговорители, имеющие номинальный диапазон частот от 40—125 до 7 100—8 000 *гц* и шире.

Широкополосные громкоговорители разрабатываются для применения в массовой бытовой РЭА и при сравнительно невысокой стоимости обеспечивают хорошее качество звучания в ограниченных объемах стационарных акустических систем приемников, радиол, телевизоров и магнитофонов.

В качестве широкополосных в настоящее время преимущественное распространение получили громкоговорители электродинамической системы прямого излучения.

Электроакустические и магнитные параметры распространенных широкополосных электродинамических диффузорных громкоговорителей прямого излучения приведены в табл. 12.

Головки 0,5ГД-30; 0,5ГД-31; 1ГД-4А; 1ГД-4Б; 1ГД-37 применяются в переносных и малогабаритных приемниках, магнитофонах и телевизорах.

Головки 1ГД-18, 1ГД-28, 1ГД-36, 1ГД-40, 2ГД-19М, 2ГД-22, 2ГД-35, 4ГД-4, 4ГД-7, 4ГД-28, 4ГД-34, 4ГД-35, 4ГД-36, 6ГД-3 применяются в стационарной бытовой РЭА: приемниках, радиолах, телевизорах и магнитофонах массового производства.

Головки 2ГД-19М, 4ГД-8Е, 4ГД-9, 6ГД-4 применяются в автомобильных приемниках.

Головки 6ГД-5, 8ГД-3 применяются в малогабаритных акустических системах с закрытыми объемами (МАС).

Головки 4А-28, 4-30, 4А-36; 4А-32, 4А-33 применяются для озвучения кинотеатральных залов.

Широкополосные громкоговорители применяются в бытовой РЭА по одной или несколько штук в зависимости от назначения и класса аппаратуры. В том случае, если применяют несколько однотипных головок, то их резонансные частоты выбирают не одинаковыми. Поэтому многие из широкополосных головок имеют два значения резонансной частоты и соответствующие этим значениям два номинальных диапазона воспроизводимых частот (табл. 12).

Головки широкополосных громкоговорителей располагают на передней стенке ящика акустической системы РЭА.

Характеристика направленности широкополосных громкоговорителей зависит от воспроизводимой частоты: на частотах в начале диапазона она имеет форму, близкую к кругу, а в конце диапазона принимает форму сильно вытянутого лепестка. Это обстоятельство является одной из причин желательного применения в акустических системах не менее двух широкополосных громкоговорителей с несколько разнесенными рабочими осями. При применении двух однотипных, но разных по частоте резонанса громкоговорителей их результирующее звуковое давление складывается, низшая эффективно воспроизводимая частота понижается, а неравномерность частотной характеристики уменьшается за счет того, что отдельные пики и провалы частотных характеристик разных громкоговорителей не совпадают и результирующая кривая частотной характеристики выравнивается.

Таблица 12

Электроакустические и магнитные параметры распространенных широкополосных электродинамических диффузорных громкоговорителей прямого излучения

Тип головки	Номинальная мощность $P_{ном}$, *ва*	Частота резонанса f_0, *гц*	Диапазон воспроизводимых частот $f_н - f_в$, *гц*	Неравномерность частотной характеристики *N*, *дб*, не более	Среднее стандартное звуковое давление $p_{ср.ст}$, *н/м²*, не менее	Модуль полного электрического сопротивления $\lvert Z_{1\,000} \rvert$, *ом*	Индукция в рабочем зазоре магнитной системы, *вб/м²*
0,5ГД-30	0,5	125^{+50}_{-30}	125—10 000	15	0,3	16	0,95
0,5ГД-31	0,5	125^{+50}_{-30}	125—10 000	15	0,2	16	0,95
1ГД-4А	1	$\frac{120\pm20}{180\pm20}$	$\frac{100—10\,000}{160—10\,000}$	12	0,3	8	1
1ГД-4Б	1	120±20	100—10 000	12	0,3	4	1
1ГД-18	1	$\frac{100\pm20}{140\pm20}$	$\frac{100—10\,000}{125—10\,000}$	15	0,18	6,3	0,65
1ГД-28	1	$\frac{100\pm20}{140\pm20}$	$\frac{100—10\,000}{125—10\,000}$	15	0,2	6,3	0,75
1ГД-36	1	$\frac{100\pm20}{140\pm20}$	$\frac{100—10\,000}{140—10\,000}$	12	0,2	8	0,7
1ГД-37	1	$\frac{140\pm20}{180\pm20}$	$\frac{140—10\,000}{180—10\,000}$	12	0,3	8	1

Тип головки	Номинальная мощность $P_{ном}$, *ва*	Частота резонанса f_0, *гц*	Диапазон воспроизводимых частот $f_н - f_в$, *гц*	Неравномерность частотной характеристики *N*, *дб*, не более	Среднее стандартное звуковое давление $p_{ср.ст}$, *н/м²*, не менее	Модуль полного электрического сопротивления $\|Z_{1000}\|$, *ом*	Индукция в рабочем зазоре магнитной системы, *вб/м²*
1ГД-40	1	$\frac{100\pm20}{140\pm20}$	$\frac{100-10\,000}{140-10\,000}$	12	0,3	8	1
2ГД-19М	2	$\frac{80^{+10}_{-15}}{100\pm15}$	$\frac{100-10\,000}{100-12\,500}$	15	0,2	4,5	0,7
2ГД-22	2	100±25	100—10 000	12	0,2	12,5	0,95
2ГД-35	2	80^{+10}_{-15}	100—10 000	15	0,2	4,5	0,75
4ГД-4	4	60±9	60—12 500	15	0,27	8	0,9
4ГД-7	4	$\frac{60^{+10}_{-15}}{80\pm15}$	$\frac{63-12\,500}{80-12\,500}$	15	0,2	4,5	0,7
4ГД-8Е	4	120±40	125—7 100	18	0,3	4	0,95
4ГД-9	4	120±20	100—8 000	18	0,25	4,5	0,8
4ГД-28	4	$\frac{60^{+10}_{-15}}{80\pm15}$	$\frac{63-12\,500}{80-12\,500}$	15	0,2	4,5	0,75
4ГД-34	4	60±10	63—12 500	10	0,2	8	0,67

Продолжение табл. 12

Тип головки	Номинальная мощность $P_{ном}$, *ва*	Частота резонанса f_0, *гц*	Дипазон воспроизводимых частот $f_н - f_в$, *гц*	Неравномерность частотной характеристики *N*, *дб*, не более	Среднее стандартное звуковое давление $p_{ср.ст}$, *н/м²*, не менее	Модуль полного электрического сопротивления $\|Z_{1\,000}\|$, *ом*	Индукция в рабочем зазоре магнитной системы, *вб/м²*
4ГД-35	4	60±10	63—12 500	10	0,3	8	1
4ГД-36	4	60±10	63—12 500	10	0,2	8	0,67
6ГД-3	6	85±10	100—10 000	12	0,4	4	1,1
6ГД-4	6	85±10	100—10 000	18	0,25	4,5	0,8
6ГД-5	6	55±5	80—10 000	15	0,12	8	1,15
8ГД-3	8	42±5	70—10 000	15	0,14	8	1
4А-28	6	70±10	70—14 000	10	0,3	15	0,7
4А-30	6	70±10	70—14 000	10	0,3	6	0,7
4А-36	6	80±10	80—10 000	10	0,4	16	0,8
4А-32	12	40±5	40—16 000	10	0,4	15	1,1
4А-33	6	40±5	40—18 000	10	0,3	15	0,8

Примечания: 1. Головки 4ГД-4, 4ГД-7; 4ГД-28, 4ГД-34, 4ГД-35, 4ГД-36, 6ГД-5, 8ГД-3 могут применяться как низкочастотные.

2. В новых разработках РЭА вместо головок 1ГД-4А, 1ГД-4Б, 1ГД-18, 1ГД-28, 4ГД-4, 4ГД-7, 4ГД28 рекомендуется применять головки 1ГД-36, 1ГД-37, 4ГД-34, 4ГД-35, 4ГД-36.

3. Головки 1ГД-4А, 1ГД-4Б, 4ГД-4, 6ГД-3, 6ГД-4, 6ГД-5, 8ГД-3 выпускаются в ограниченных количествах для применения в конкретных разработках РЭА.

ТЕЛЕФОНЫ

Электроакустические параметры современных телефонов зависят в основном от применяемой системы преобразования. В качестве примера на рис. 29 изображены частотные характеристики чувствительности отдельных телефонных капсюлей. Кривая *1* на этом рисунке соответствует телефонному капсюлю простой электромагнитной системы преобразования, кривая *2* — капсюлю дифференциальной электромагнитной системы и кривая *3* — капсюлю электродинамической системы. Как видно, телефоны простой электромагнитной системы имеют весьма плохую частотную характеристику чувствительности, в связи с чем они применяются в основном для воспроизведения речи. Телефоны дифференциальной электромагнитной системы имеют улучшенную частотную характеристику и могут применяться для прослушивания музыкальных программ при удовлетворительном качестве звучания (не выше третьего класса качества по табл. 2). Более высокое качество воспроизведения музыкальных программ обеспечивают телефоны электродинамической системы.

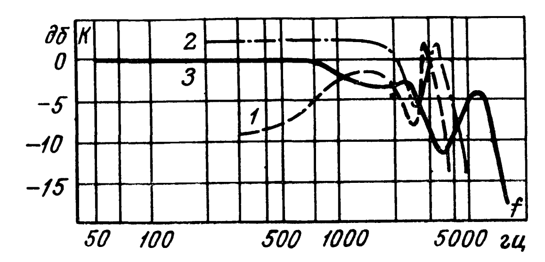


Рис. 29. Частотные характеристики чувствительности телефонов различных систем.

1 — простой электромагнитной системы; *2* — дифференциальной системы; *3* — электродинамической системы.

Среди современных телефонов наибольшее распространение получили телефоны электромагнитной системы. Капсюли этих телефонов выпускаются с электрическим сопротивлением постоянному току от 50 до 2 200 *ом*. Величина сопротивления обычно указывается маркировкой на корпусе капсюля с наружной стороны или внутри капсюля на обмотках катушек.

Телефоны электромагнитной системы могут быть применены в РЭА с транзисторными выходными каскадами путем непосредственного включения по бестрансформаторной схеме, а в аппаратуре с ламповыми выходными каскадами — через согласующий трансформатор или непосредственно в анодную цепь лампы через последовательно соединенный конденсатор.

Телефоны электродинамической системы имеют электрическое сопротивление от десятков до сотен ом и включаются в выходные каскады РЭА в основном через согласующие трансформаторы.

Распространенные схемы включения телефонов приведены на рис. 30—32.

Все существующие телефоны можно разделить на четыре основных класса в зависимости от их применения: 1 — телефоны для

проводной связи в сетях АТС; 2 — телефоны для связных радиостанций и переговорных устройств; 3 — телефоны для бытовой РЭА; 4 — телефоны специального назначения.

Электроакустические параметры отечественных и некоторых зарубежных телефонных капсюлей приведены в табл. 13.

Таблица 13

Электроакустические параметры телефонных капсюлей

Тип	Система электроакустического преобразования	Номинальный диапазон частот $f_н—f_в$, *гц*	Чувствительность $K_{ср}$, *н/м²·в*	Неравномерность частотной характеристики β, *дб*	Модуль полного электрического сопротивления $\|Z_{1\,000}\|$, *ом*
ТА-47 (ТК-47)	Электромагнитная простая	300—3 000	10	35	250—4 200
ТА-4	То же	300—3 400	13	13	300—10 000
ТОН-2	» »	300—3 000	4	35	600—1 600
ТА-56М	» »	300—3 000	10	13	300—10 000
ТК-67	» »	300—3 400	10	10	300—10 000
№ 641 (Польша)	» »	300—3 000	10	35	600
4Т (Англия)	» »	300—3 400	15	12	—
ТГ-7М	» »	300—3 000	10	27	300
ТМ-2 (ТМ-4)	» »	300—3 000	5	27	300
ТГ-9	Электромагнитная дифференциальная	300—4 000	15	20	300
ДЭМ-4М	То же	200—3 000	35	10	600
ДЭМК-6	» »	200—3 500	18	10	600
ДЭМК-7Т	» »	200—4 000	20	10	600
ТД-6	Электродинамическая	50—5 000	20	13	140
W-66 (Польша)	То же	50—4 000	20	15	200

Телефонные капсюли типов ТА-47 и ТА-4 находят широкое применение в проводной связи АТС. Эти капсюли являются довольно устаревшими и должны заменяться новым капсюлем типа ТК-67. Капсюли ТОН-2 применяются в стационарной бытовой РЭА. Капсюли типа ТА-56М предназначены для применения в стационарной и передвижной РЭА и переговорных устройствах. Капсюли ТГ-7М и ТГ-9 — малогабаритные, облегченные, применяются в легких переносных радиостанциях. Малогабаритные капсюли ТМ-2, ТМ-4 предназначены для применения в аппаратуре связи и переносной бытовой РЭА. Капсюли типов ДЭМ-4М, ДЭМК-6, ДЭМК-7Т находят применение в специальной аппаратуре связи и могут использоваться одновременно как телефоны и как микрофоны (например, в скафандрах водолазов). Электродинамический капсюль типа ТД-6 предназначен для акустических измерений и может быть использован

для качественного воспроизведения музыкальных программ. Иностранные капсюли, данные о которых приведены в табл. 13, применяются в аппаратуре телефонной связи и переговорных устройствах.

Многие из выпускаемых телефонных капсюлей применяются в парных головных телефонах. При этом два капсюля, электрически соединенные последовательно, монтируются на пружинящей дужке или ремне (оголовье), которые обеспечивают плотное прилегание капсюлей к ушным раковинам. Головные парные телефоны выпускаются с капсюлями типов ТА-56М, ТОН-2, ТГ-7М, ТГ-9. Малогабаритные телефоны типов ТМ-2, ТМ-4 снабжаются специальными дужками-крючками, с помощью которых они могут удерживаться на одной ушной раковине. Головные телефоны типа ТОН-2, кроме того, снабжены самостоятельным нагрудным регулятором громкости, позволяющим изменять громкость воспроизведения звука не менее чем на 25 *дб*. Электрическая схема головных телефонов ТОН-2 приведена на рис. 30.

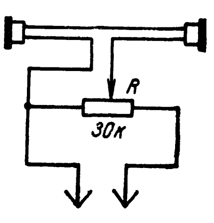


Рис. 30. Электрическая схема головных телефонов типа ТОН-2.

Особое место среди телефонов занимают телефоны, предназначенные для применения в стереофонической аппаратуре. Как уже отмечалось выше, применение парных головных телефонов позволяет получить более четкое разделение каналов при прослушивании стереофонических программ по сравнению с громкоговорителями. Поскольку, однако, стереофонические программы могут выявить все свои преимущества перед монофоническими только при высоком качестве воспроизведения звука, то требования к параметрам телефонов, применяемых для прослушивания этих программ, должны быть очень высокими. В связи с этим в стереофонических телефонах в качестве капсюлей обычно используются высококачественные малогабаритные громкоговорители электродинамической системы. Эти громкоговорители монтируются в пластмассовые или металлические корпуса-наушники, которые обязательно снабжаются уплотнительными заглушками из мягкой пористой резины. «Капсюли» в стереофонических головных телефонах в отличие от монофонических имеют

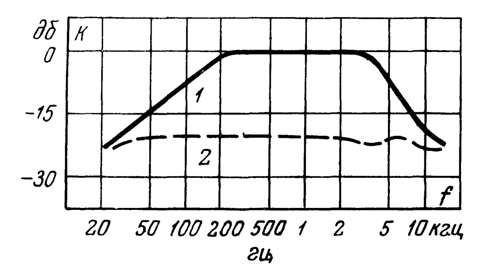


Рис. 31. Частотные характеристики чувствительности телефонного капсюля.

1 — без фильтра; *2* — с корректирующим фильтром.

отдельные выводы на трех- или четырехпроводный штекер. При применении телефонов для прослушивания стереофонических программ не следует путать левый и правый наушники, поскольку это может привести к зеркальному восприятию звучания оркестра. Обычно на таких телефонах имеются надписи «левый» и «правый» или цветная маркировка: желтый цвет — левый, красный — правый.

Таблица 14

Электроакустические параметры телефонов для прослушивания стереофонических программ

Тип	Номинальный диапазон частот $f_н-f_в$, *гц*	Неравномерность частотной характеристики *N*, *дб*	Модуль полного электрического сопротивления $\|Z_{1000}\|$, *ом*
ТГС-1 стерео (СССР)	20—7 000	15	350*
DH-843 (Япония)	30—15 000	10	16
DH-1001 (Япония)	30—15 000	10	16
EAH-65 (Япония)	20—20 000	15	8
HD-414 (ФРГ)	20—20 000	10	8

* Модуль полного электрического сопротивления на входе корректирующего фильтра, вмонтированного в телефоны.

Электроакустические параметры некоторых типов телефонов для прослушивания стереофонических программ приведены в табл. 14.

Расширить диапазон воспроизводимых частот можно в принципе в телефонах любого типа введением корректирующего фильтра.

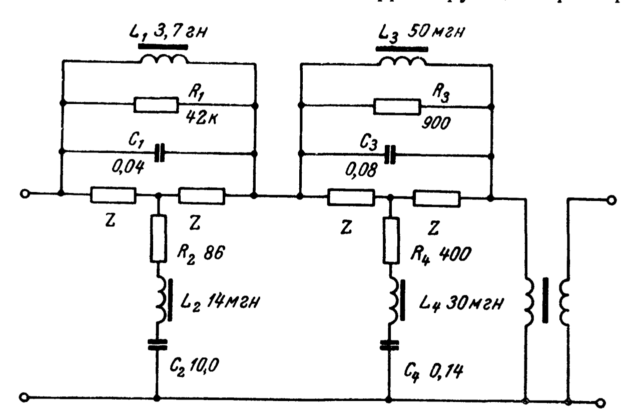


Рис. 32. Электрическая схема корректирующего фильтра. Характеристическое сопротивление $|Z|=600$ *ом*.

На рис. 31 приведены частотные характеристики одного из зарубежных электродинамических телефонов. Кривая *1* на этом рисунке соответствует чувствительности телефона без корректирующего фильтра, а кривая *2* — с фильтром, принципиальная схема которого приведена на рис. 32.

Как видно из рисунка, с помощью корректирующего фильтра можно значительно выровнить частотную характеристику телефона. При этом резко понижается чувствительность, однако номинальный диапазон воспроизводимых частот расширяется до значений, соответствующих высшему классу качества звучания, а именно: от 30—50 *гц* до 15—18 *кгц* при небольшой неравномерности частотной характеристики.

Следует отметить, что воспроизведение низших частот телефонами зависит от плотности прилегания их крышек (амбушюров) к ушным раковинам слушателя. Наличие даже незначительных щелей резко снижает эффективность воспроизведения низших частот. В связи с этим телефоны-наушники снабжаются мягкими резиновыми или пластмассовыми уплотнителями, которые во время прослушивания высококачественных музыкальных программ должны хорошо прилегать к голове.

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

КЛАССИФИКАЦИЯ ГРОМКОГОВОРИТЕЛЕЙ И ТЕЛЕФОНОВ ПО КОНСТРУКТИВНЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ

ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИЕ ДИФФУЗОРНЫЕ ГРОМКОГОВОРИТЕЛИ ПРЯМОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

В настоящее время в РЭА применяется много различных конструкций электродинамических диффузорных громкоговорителей прямого излучения. Наиболее распространенные конструкции изображены на рис. 33—35.

На рис. 33 показана одна из конструкций громкоговорителя с керновым магнитом *1* из кобальтового сплава и экранированной магнитной цепью. Магнит *1* снабжен полюсным наконечником *2*. Магнитопроводом являются стальной тянутый стакан *3* и штампованный круглый фланец *4*, которые соединены между собой клеем марки БФ-2. Фланец *4* соединен со стальным штампованным или алюминиевым литым диффузородержателем *5* при помощи расчеканки или винтов.

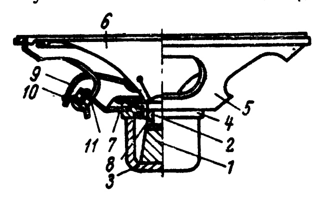


Рис. 33. Конструкция электродинамического громкоговорителя с керновым магнитом и экранированной магнитной цепью.

1 — постоянный магнит; *2* — полюсный наконечник; *3* — стакан; *4* — фланец; *5* — диффузородержатель; *6* — диффузор; *7* — центрирующая шайба; *8* — звуковая катушка; *9* — гибкий электрический вывод; *10* — контактный лепесток; *11* — изоляционная планка.

Подвижные системы электродинамических диффузорных громкоговорителей прямого излучения состоят из литого бумажного диффузора *6*, центрирующей шайбы *7*, изготовленной из ткани, пропитанной смолой или лаком, и звуковой катушки *8* из медного провода, намотанного на бумажный или алюминиевый каркас. Детали подвижной системы соединены между собой и с диффузородержателем при помощи клея.

Гибкие электрические выводы *9* от звуковой катушки припаяны

к контактным лепесткам *10*, укрепленным на диффузородержателе с помощью изоляционной планки *11* или резиновых амортизаторов.

Часто вместо круглого стакана и фланца магнитопровод изготовляется из полосовой стали в виде скобы и прямоугольного фланца, склеенных между собой. Для защиты рабочего зазора от попадания пыли и особенно стальной стружки в громкоговорителях с такими магнитными цепями применяется защитный колпачок из немагнитного материала, надеваемый на полюсный наконечник.

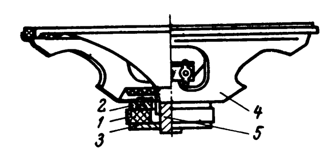


Рис. 34. Конструкция электродинамического громкоговорителя с кольцевым магнитом и неэкранированной магнитной цепью.

1 — постоянный магнит; *2* — верхний фланец; *3* — нижний фланец; *4* — диффузородержатель; *5* — керн.

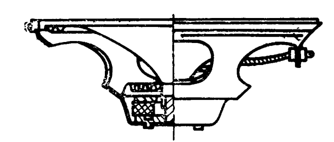


Рис. 35. Конструкция электродинамического громкоговорителя с кольцевым магнитом и экранированной магнитной цепью.

С этой же целью в большинстве конструкций громкоговорителей звуковая катушка с внешней стороны диффузора заклеивается защитным колпачком из бумаги или легкой ткани.

Указанные конструкции громкоговорителей с керновыми магнитами не создают значительных внешних магнитных полей, так как магниты в них окружены стальным магнитопроводом, который одновременно является экраном. Такие громкоговорители применяются в РЭА, где недопустимо наличие сильных магнитных полей (телевизоры, магнитофоны, приемники с ферритовыми магнитными антеннами).

В аппаратуре, где наличие магнитных полей допустимо (выносные акустические системы, абонентские громкоговорители, радиограммофоны), применяются громкоговорители с неэкранированными кольцевыми (большей частью ферритовыми) магнитами. Наиболее распространенная конструкция громкоговорителя с кольцевым ферритовым магнитом изображена на рис. 34.

Магнитная система такого громкоговорителя состоит из магнита *1*, склеенного с двумя стальными фланцами *2*, *3*. Верхний фланец *2* соединен с диффузородержателем *4* при помощи расчеканки или винтов, а нижний фланец *3* снабжен стальным керном *5*.

В последнее время находят распространение громкоговорители с кольцевыми ферритовыми магнитами, магнитные цепи которых снаружи опрессованы пластмассой. Опрессовка пластмассой позволяет повысить технологичность и улучшить внешний вид громкоговорителей.

Недостатком указанных громкоговорителей с кольцевыми магнитами является наличие больших внешних магнитных полей рассеяния, что ограничивает их применение. Этот недостаток устранен в конструкции, изображенной на рис. 35, за счет расположения кольцевого магнита внутри стального экранирующего колпака, вытянутого заодно с диффузородержателем. Однако размещение магнита внутри экранирующего колпака приводит к значительному уменьшению величины индукции в рабочем зазоре магнитной систе-

Таблица 15

Характеристики конструкций распространенных электродинамических диффузорных громкоговорителей прямого излучения

Тип	Габаритные и установочные размеры, *мм*, по эскизам на рис. 36													Тип магнитной цепи	Масса, *кг*
	Литера	*D*	*H*	*d*	*h*	D_1	d_1	*A*	*B*	*a*	*b*	a_1	b_1		
0,025ГД-2	*а*	40	16,5	16,4	4	—	—	—	—	—	—	—	—	Э	0,018
0,05ГД-1	*а*	40	8,5	22	4	—	—	—	—	—	—	—	—	Н	0,012
0,05ГД-2	*б*	40	17	16,5	4	—	—	—	—	—	—	—	—	Э	0,018
0,1ГД-3М	*а*	50	20	21	6	—	—	—	—	—	—	—	—	Э	0,03
0,1ГД-6	*а*	60	28	25	8	—	—	—	—	—	—	—	—	Э	0,06
0,1ГД-12	*а*	60	25,5	21	8	—	—	—	—	—	—	—	—	Э	0,045
0,1ГД-13	*а*	50	18	21	6	—	—	—	—	—	—	—	—	Э	0,028
0,25ГД-1	*а*	70	36	—	10	—	—	—	—	24	32	—	—	П/Э	0,115
0,25ГД-2	*а*	70	36	—	10	—	—	—	—	24	32	—	—	П/Э	0,112
0,25ГД-10	*а*	63	29	33	9,5	—	—	—	—	—	—	—	—	Э	0,092
0,5ГД-10	*в*	105	51	30	22	100	3,6	—	—	—	—	—	—	Э	0,160
0,5ГД-12	*в*	105	35	52	22	100	3,6	—	—	—	—	—	—	Н	0,190
0,5ГД-17	*и*	—	37	34	15	—	4	106	70	—	—	88	52	Э	0,15
0,5ГД-20	*а*	80	34	34	12	—	—	—	—	—	—	—	—	Э	0,13
0,5ГД-21	*а*	80	37	34	15	—	—	—	—	—	—	—	—	Э	0,13
0,5ГД-30	*к*	—	49	41	49	—	5	122	80	—	—	100	63	Э	0,19
0,5ГД-31	*к*	—	49	41	49	—	5	122	80	—	—	100	63	Э	0,19

Продолжение табл. 15

Тип	Габаритные и установочные размеры, *мм*, по эскизам на рис. 36													Тип магнитной цепи	Масса, *кг*
	Литера	D	H	d	h	D_1	d_1	A	B	a	b	a_1	b_1		
1ГД-3	*д*	70	34	52	19	62	3,6	—	—	—	—	—	—	Э	0,182
1ГД-4А	*и*	—	58	—	22	—	4,8	150	100	41	47	90	90	П/Э	0,3
1ГД-4Б	*и*	—	58	—	22	—	4,8	150	100	41	47	90	90	П/Э	0,3
1ГД-18	*ж*	—	48	34	28	—	3,6	155	98	—	—	147	89	Э	0,17
1ГД-28	*ж*	—	42	52	28	—	3,6	155	98	—	—	147	89	Н	0,24
1ГД-30	*в*	126	37	52	25	118	3,6	—	—	—	—	—	—	Н	0,25
1ГД-36	*к*	—	58	42	27	—	4,8	160	100	—	—	125	80	Э	0,27
1ГД-37	*к*	—	64	44	27	—	4,8	160	100	—	—	125	80	Э	0,32
1ГД-40	*к*	—	41	60	27	—	4,8	160	100	—	—	125	80	Н	0,3
2ГД-19М	*в*	153	52	52	42	143	4,8	—	—	—	—	—	—	Э	0,28
2ГД-22	*м*	—	77	48	44	—	4,8	280	82	—	—	180	72	Э	0,42
2ГД-35	*в*	153	54,5	57	37	143	4,8	—	—	—	—	—	—	Н	0,29
2ГД-36	*к*	—	42	35	15	—	4,3	80	50	—	—	63	40	Э	0,11
3ГД-1	*в*	150	53	60	35	142	4,3	—	—	—	—	—	—	Н	0,43
3ГД-2	*в*	80	31	60	17	72	3,6	—	—	—	—	—	—	Н	0,22
4ГД-4	*г*	202	72	85	45	192	6,6	—	—	—	—	—	—	Н	1,0
4ГД-5	*г*	202	76	85	45	192	6,6	—	—	—	—	—	—	Н	1,15
4ГД-6	*в*	80	37	60	30	72	3,6	—	—	—	—	—	—	Н	0,34
4ГД-7	*г*	202	80	42	54	192	4,8	—	—	—	—	—	—	Э	0,4
4ГД-8Е	*л*	—	49	75	30	—	5	125	125	—	—	100	100	Н	0,62

Продолжение табл. 15

Тип	Габаритные и установочные размеры, *мм*, по эскизам на рис. 36													Тип магнитной цепи	Масса, *кг*
	Литера	*D*	*H*	*d*	*h*	D_1	d_1	*A*	*B*	*a*	*b*	a_1	b_1		
4ГД-9	*ж*	—	56	60	40	—	4	204	134	—	—	192	124	Н	0,42
4ГД-28	*г*	202	78	60	54	192	4,8	—	—	—	—	—	—	Н	0,5
4ГД-34	*л*	200	70	68	50	228	5,5	180	180	—	—	—	—	Н	0,6
4ГД-35	*л*	200	74	76	50	228	5,5	180	180	—	—	—	—	Н	0,9
4ГД-36	*л*	200	85	55	50	228	5,5	180	180	—	—	—	—	Э	0,65
6ГД-1	*ж*	—	131	—		—		327	225	—	—	—	—	П/Э	1,2
6ГД-2	*г*	252	135	—	75	240	5	—	—	60	72	—	—	П/Э	1,56
6ГД-3	*и*	—	87	90	50	—	3,5	240	160	—	—	140	140	Н	1,2
6ГД-4	*з*	—	93	46	50	—	5	254	170	—	—	160	115	Э	0,6
6ГД-5	*л*	125	92	75	50	140	5	155	—	—	—	—	—	Н	1,2
4А-28	*г*	258	90	92	60	245	6	—	—	—	—	—	—	Н	4,0
4А-30	*г*	258	90	92	60	245	6	—	—	—	—	—	—	Н	4,0
4А-32	*г*	362	176	108	116	362	6	—	—	—	—	—	—	Н	6,0
4А-33	*г*	264	103	106	80	251	5,5	—	—	—	—	—	—	Н	5,0
4А-36	*г*	258	104	106	84	245	5,5	—	—	—	—	—	—	Н	5,0
8ГД-1	*г*	260	152	90	75	250	6,6	—	—	—	—	—	—	Н	5,7
8ГД-31	*л*	160	100	80	60	175	5,5	190	—	—	—	—	—	Н	1,5
10ГД-29	*е*	300	140	90	90	307	6,2	325	—	—	—	—	—	Н	3,0
10ГД-30	*л*	200	120	105	65	225	6,5	240	—	—	—	—	—	Н	3,2

Примечание. В таблице приняты следующие условные обозначения типов магнитных цепей: Э — экранированная; Н — неэкранированная, П/Э — полуэкранированная.

мы. Такая конструкция магнитной системы применена, например, в громкоговорителе 2ГД-19М.

Конструктивные характеристики распространенных электродинамических диффузорных громкоговорителей прямого излучения приведены в табл. 15, а их габаритные эскизы — на рис. 36.

Электродинамические диффузорные громкоговорители любой конструкции, предназначенные для применения в РЭА бытового назначения, должны выдерживать механические и климатические воздействия, указанные в табл. 16, после чего их электроакустические параметры не должны выходить за пределы нормируемых значений, а конструкция не должна иметь повреждений.

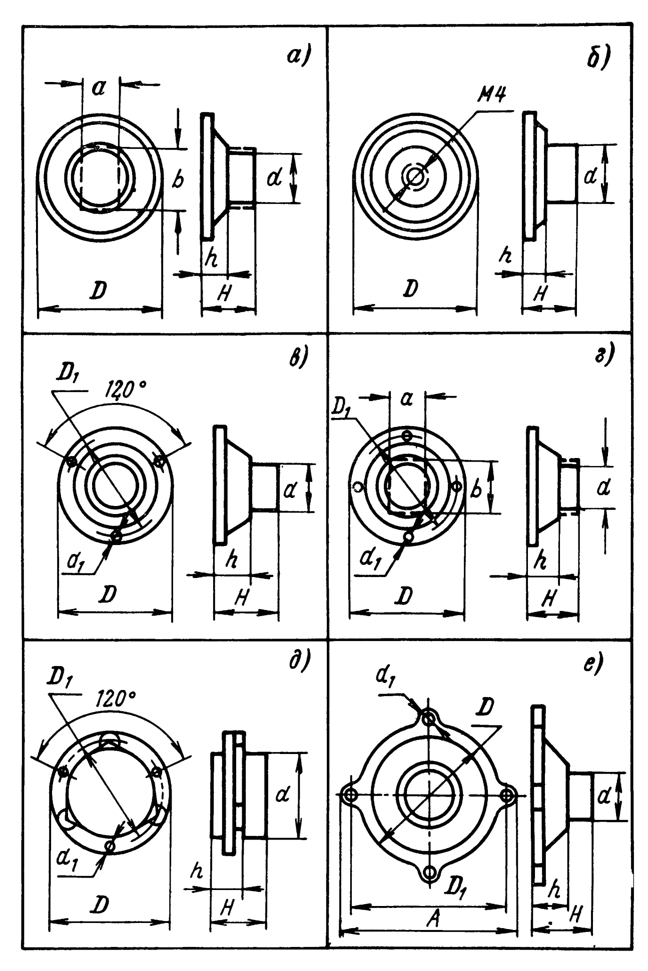
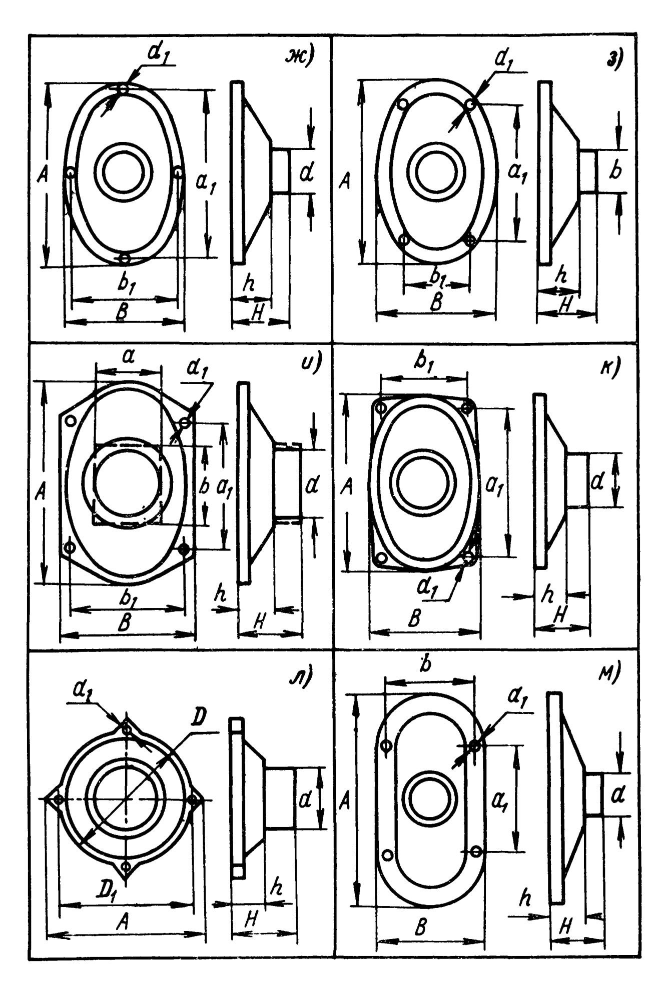


Рис. 36. Габаритные эскизы головок

При применении громкоговорителей следует знать, что предприятие-изготовитель обязано в течение одного года со дня продажи громкоговорителей (или РЭА, в которой они установлены), но не более двух лет со дня отгрузки громкоговорителей с предприятия-изготовителя безвозмездно заменять или ремонтировать их, если в указанные сроки потребителем будет обнаружено несоответствие параметров значениям, указанным в табл. 4, 5, 7, 15, объясняемое дефектами изготовления.



электродинамических громкоговорителей,

Таблица 16

Значения механических и климатических воздействий, определяющие качество конструкции громкоговорителей

Параметр конструкции	Виды воздействия при испытаниях	Нормы для групп		
		I	II	III
Ударная устойчивость	Ускорение	—	10	8
	Длительность ударного импульса, *мсек*	—	5—10	5—10
	Частота ударов в минуту	—	40—80	40—80
	Количество ударов, не менее	—	20	20
Ударная прочность	Ускорение	—	15	8
	Длительность ударного импульса, *мсек*	—	5—10	5—10
	Частота ударов в минуту	—	40—80	40—80
	Количество ударов	—	5 000	1 000
Прочность при транспортировании	Ускорение	15	—	—
	Длительность ударного импульса, *мсек*	5—10	—	—
	Частота ударов в минуту	40—80	—	—
	Количество ударов	5 000	—	—
Виброустойчивость	Ускорение	—	3	3
	Частота, *гц*	—	7—10	7—10
	Длительность, *ч*	—	2	2
Теплоустойчивость	Рабочая температура, °С	+40±2	+50±2	+45±2
	Продолжительность, *ч*	4	4	4
	Предельная температура, °С	+60±2	+60±2	+60±2
	Продолжительность, *ч*	2	2	2
Влагоустойчивость	Относительная влажность, %	93±2	93±2	93±2
	Температура, °С	+25±2	+30±2	+25±2
	Продолжительность, *ч*	48	48	48
Холодоустойчивость	Рабочая температура, °С	—	—20±2	—10±2
	Продолжительность, *ч*	—	4	4
	Предельная температура, °С	—40±2	—40±2	—40±2
	Продолжительность, *ч*	4	2	2

Примечания: 1. Громкоговорители I группы применяются в стационарной РЭА, II группы — в автомобильных приемниках, III группы — в переносных приемниках.

2. Для громкоговорителей I группы, применяемых в РЭА, выполненной на радиолампах, и подвергающихся дополнительному нагреву, рабочая температура устанавливается +60±2 °С.

3. Определение соответствия электроакустических параметров нормируемым значениям допускается проводить не ранее чем:

а) через 6 *ч* пребывания громкоговорителей в нормальных условиях после их испытания на теплоустойчивость;

б) через 24 *ч* пребывания громкоговорителей в нормальных условиях после их испытания на влагоустойчивость;

в) через 12 *ч* для I группы и через 6 *ч* для II и III групп пребывания громкоговорителей в нормальных условиях после их испытания на холодоустойчивость.

РУПОРНЫЕ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИЕ ГРОМКОГОВОРИТЕЛИ

Конструкции рупорных электродинамических громкоговорителей в общем соответствуют приведенному ранее рис. 6. Такие конструкции применяются, в основном, в высокочастотных громкоговорителях, у которых длина рупора невелика. В средне- и особенно низкочастотных громкоговорителях длина рупора значительна, в связи с чем в этих громкоговорителях часто применяют «свернутые» рупоры (рис. 37).

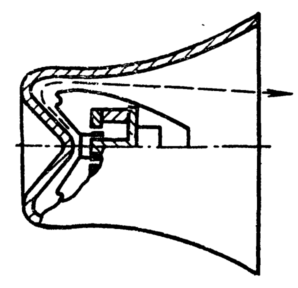


Рис. 37. Конструкция электродинамического громкоговорителя со «свернутым» рупором.

Основные характеристики конструкций и рекомендации по применению распространенных рупорных электродинамических громкоговорителей приведены в табл. 17.

Устья рупорных громкоговорителей 10ГРД-6, 25ГРД-5 закрыты защитными сетками, а громкоговорители 25ГРД-8РВ, 25ГРД-8ВЗГ, кроме того, имеют еще искрогасящие фильтры.

Рупорные громкоговорители, перечисленные в табл. 16, должны выдерживать влияние температуры от —40 до +50 °С и влажность

Таблица 17

Основные характеристики конструкций распространенных рупорных электродинамических громкоговорителей

Тип	Габариты, *мм*	Масса, *кг*	Примечание
10ГРД-5	504×480×390	7	Применяется для озвучивания открытых пространств и помещений
10ГРД-6	333×452×432	8	Применяется для производственной связи, пылезащищенный
25ГРД-2	410×770	15	Применяется для озвучивания открытых пространств
25ГРД-5	333×444×430	8	Применяется для производственной связи, пылезащищенный
25ГРД-8РВ	407×333×446	22	Применяется для производственной связи, искробезопасный
25ГРД-8ВЗГ	407×333×446	22	Применяется для производственной связи, взрывобезопасный
50ГРД-10	333×430	15	Состоит из двух головок 25ГРД-5
100ГРД-1	910×770×1 148	35	Состоит из двух головок 50ГРД-10

окружающего воздуха до 98% без повреждения конструкции. При этом их электроакустические параметры не должны выходить за нормируемые пределы.

РАСПРОСТРАНЕННЫЕ КОНСТРУКЦИИ ТЕЛЕФОНОВ

Наиболее распространены в настоящее время телефоны простой электромагнитной системы (схема на рис. 7). Конструкция такого телефонного капсюля изображена на рис. 38. Он состоит из пластмассового корпуса *1*, внутри которого вмонтирован постоянный магнит *2*, снабженный полюсными наконечниками *3*, изготовленными из мягкой стали. На полюсные наконечники надеты электрические катушки *4*. Излучающая стальная мембрана *5* закрыта пластмассовой крышкой *6*, имеющей отверстия для выхода звуковых волн. Для улучшения акустических свойств внутренний объем корпуса под мембраной разделен пластмассовым диском *7* с двумя небольшими отверстиями, затянутыми легкой сеткой. Диск *7*, называемый корректирующим, предназначен для сглаживания резонансных пиков в частотной характеристике телефона. Такую конструкцию имеет, например, капсюль типа ТА-4.

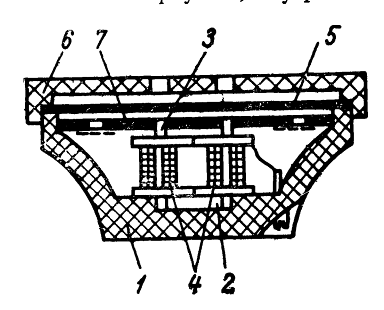


Рис. 38. Конструкция телефонного капсюля простой электромагнитной системы типа ТА-4.

1 — корпус; *2* — постоянный магнит; *3* — полюсные наконечники; *4* — электрические катушки; *5* — мембрана; *6* — крышка; *7* — корректирующий диск.

Рис. 39. Конструкция телефонного капсюля простой электромагнитной системы типа ТА-56М.

1 — корпус; *2* — постоянный магнит; *3* — полюсные наконечники; *4* — электрическая катушка; *5* — мембрана; *6* — крышка; *7* — корректирующий диск.

На рис. 39 изображена другая конструкция телефонного капсюля простой электромагнитной системы с одной электрической катушкой (обозначения на этом рисунке те же, что и на рис. 38). Эта конструкция применяется в телефонных капсюлях типов ТН-56М и ТОН-2 за исключением того, что в капсюле ТОН-2 отсутствует корректирующий диск.

Конструкция электромагнитного телефонного капсюля дифференциальной электромагнитной системы изображена на рис. 40. Этот капсюль отличается тем, что его магнитная система, выполненная по схеме (рис. 8), состоит из постоянного магнита *1*, соединенного своими полюсами с магнитопроводом *2*, внутри которого расположены электрические катушки *3* и гибкий якорь *4*. Якорь жестко соединен с диафрагмой *5*, выполненной из тонкой алюминиевой фольги или пластмассы. Такая конструкция соответствует капсюлям типа ДЭМ.

На рис. 41 изображена конструкция малогабаритного телефон-

ного капсюля типа ТМ-2. Капсюль состоит из кольцевого постоянного магнита *1*, электрической катушки *2*, магнитопровода *3* и мембраны *4*, удерживаемых в пластмассовом корпусе *5* алюминиевой крышкой *6*.

Выводы от электрической катушки присоединены к двум пружинящим контактам *7*, рассчитанным на подключение специальной малогабаритной «вилки» через отверстия в корпусе.

Конструкция телефонных капсюлей электродинамической системы в общем соответствует рис. 4, за исключением того, что в телефонных капсюлях применяются более плоские пластмассовые диафрагмы. При этом отпадает необходимость в центрирующей шайбе. Кроме того, все детали телефонного капсюля обычно монтируются в пластмассовом корпусе.

Конструкция пьезоэлектрического телефонного капсюля соответствует приведенной ранее на рис 15. Такая конструкция широко применялась с использованием пьезоэлементов из сегнетовой соли.

Основные характеристики конструкций распространенных телефонных капсюлей приведены в табл. 18.

Телефонные капсюли (кроме пьезоэлектрических) должны выдерживать воздействие температуры в интервале от —40 до +50 °С и относительную влажность окружающего воздуха до 98%.

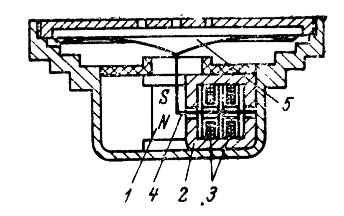


Рис. 40. Конструкция телефонного капсюля дифференциальной электромагнитной системы.

1 — постоянный магнит; *2* — магнитопровод; *3* — электрические катушки; *4* — якорь; *5* — диафрагма.

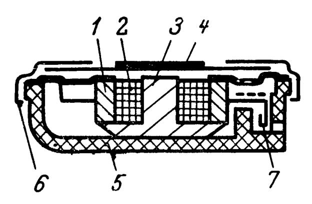


Рис. 41. Конструкция малогабаритного телефонного капсюля.

1 — постоянный магнит; *2* — электрическая катушка; *3* — магнитопровод; *4* — мембрана; *5* — корпус; *6* — крышка; *7* — контактный вывод.

Таблица 18

Основные характеристики конструкций распространенных телефонных капсюлей

Тип	Габариты, *мм*		Масса, *г*
	Диаметр	Высота	
ДЭМ-4М	55	30	123
ТД-6	52	26	102
ТА-47	51	25,5	100
ТА-4	51	24,5	52
ТА-56М	42	14	35
ТОН-2	42	14	30
ТМ-2	22	11	6

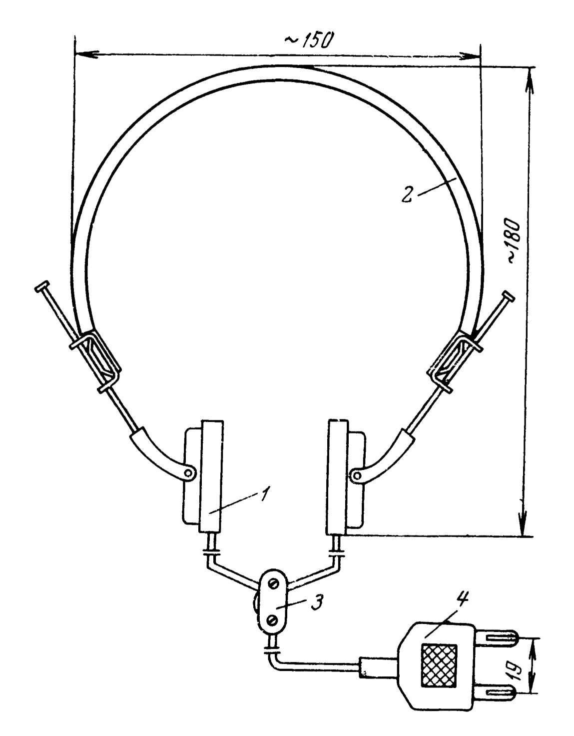


Рис. 42. Конструкция головных телефонов типа ТОН-2.

1 — телефонные капсюли; *2* — оголовье; *3* — регулятор громкости; *4* — штепсельная вилка со шнуром.

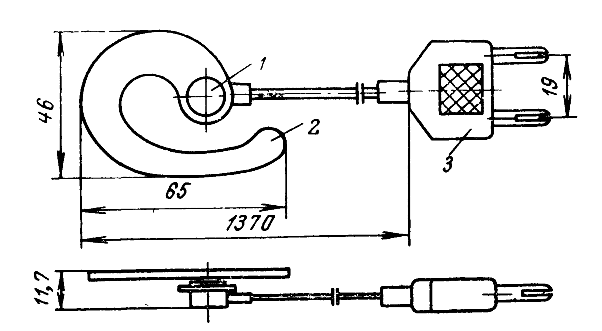


Рис. 43. Конструкция малогабаритного телефона типа ТМ-2.

1 — телефонный капсюль; *2* — дужка; *3* — штепсельная вилка со шнуром.

Конструкция широко распространенных головных телефонов типа ТОН-2 изображена на рис. 42. Эти телефоны состоят из двух капсюлей *1*, оголовья *2*, выполненного из стальной ленты с пластмассовой облицовкой, регулятора громкости *3* и штепсельной вилки *4* с электрическим шнуром. Масса всего комплекта 170 *г*.

Аналогичную конструкцию имеют головные телефоны типа ТА-56М, отличительной особенностью которых является наличие резиновых заглушек на капсюлях.

Облегченные головные телефоны типа ТГ-7М вместо пружинного стального оголовья снабжены кожаным ремнем с застежкой.

Малогабаритный телефон типа ТМ-2 (рис. 43) состоит из капсюля *1*, пластмассовой дужки *2*, с помощью которой он крепится на ушной раковине, и штепсельной вилки *3* со шнуром. Масса этого телефона составляет всего 20 *г*.

Малогабаритные телефоны, применяемые в слуховых аппаратах для тугоухих, вместо пластмассовой дужки имеют резиновые наконечники, вставляемые внутрь ушной раковины.

ГЛАВА ПЯТАЯ

СПОСОБЫ ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ГРОМКОГОВОРИТЕЛЕЙ

Несмотря на довольно большое количество типов выпускаемых громкоговорителей, иногда могут возникнуть затруднения при их применении, вызванные тем, что параметры громкоговорителей не соответствуют требованиям, предъявляемым к РЭА, в которой они должны быть использованы. В таких случаях требуется некоторое изменение параметров громкоговорителей. Рассмотрим способы изменения некоторых параметров наиболее распространенных громкоговорителей электродинамической системы.

Частота основного резонанса подвижной системы громкоговорителя может быть повышена путем смазывания центрирующей шайбы раствором лака. При этом можно использовать 5—10%-ный раствор лаков ЦАПОН, АК-20 или целлулоида в ацетоне. Раствор лака следует наносить на центрирующую шайбу мягкой кисточкой равномерно по окружности, чтобы при высыхании не произошла «расцентровка» звуковой катушки в рабочем зазоре магнитной системы. Таким способом можно повысить частоту резонанса до 1,5—2 раз. Можно также смазывать лаком гофрированный подвес диффузора, однако это менее эффективно. Повышение резонансной частоты сопровождается одновременным повышением звукового давления громкоговорителя на частоте резонанса аналогично кривой *2* на рис. 26, что объясняется повышением его добротности. При этом следует иметь в виду, что подъем частотной характеристики может привести к увеличению ее неравномерности.

Понизить частоту основного резонанса громковорителя можно путем утяжеления его подвижной системы, например, приклеив картонное кольцо на центральную часть диффузора. При этом одновременно снижается звуковое давление в области средних и высших частот примерно пропорционально увеличению активной массы. Особенно значительно снижается звуковое давление на самых высших

частотах диапазона, так что диапазон воспроизводимых частот сужается со стороны высших частот больше, чем расширяется со стороны низших частот. Интересно, что при утяжелении подвижной системы в довольно значительных пределах звуковое давление громкоговорителя в области резонанса не изменяется.

Расширить диапазон воспроизводимых частот громкоговорителя в обе стороны как в области низших, так и в области высших частот можно путем вклеивания в центральную часть диффузора (желательно непосредственно на торец звуковой катушки) небольшого дополнительного «конуска», склеенного из плотной, но не толстой бумаги, пропитанной 3—5%-ным раствором лака ЦАПОН в ацетоне и имеющего вид усеченного конуса с диаметром меньшего основания, примерно равным диаметру звуковой катушки, углом раствора около 70° и высотой около 0,5 высоты диффузора громкоговорителя. Дополнительный конус снижает частоту основного резонанса подвижной системы за счет увеличения ее активной массы и одновременно повышает верхнюю граничную частоту воспроизводимого диапазона за счет большей жесткости его по сравнению с жесткостью основного диффузора громкоговорителя. Правильно подобранный дополнительный конус может обеспечить расширение номинального диапазона воспроизводимых громкоговорителем частот на 1—2 октавы. При этом одновременно снижается звуковое давление громкоговорителя из-за увеличения активной массы подвижной системы.

Увеличить звуковое давление громкоговорителя с неэкранированной магнитной системой и кольцевым магнитом (рис. 34) можно, приклеив к нижнему фланцу *3* второй такой же кольцевой магнит (или близкий по размерам). Дополнительный магнит должен быть присоединен в противоположной полярности по отношению к полю рассеяния основного магнита так, чтобы при прикладывании его к фланцу магнитной системы чувствовалась отталкивающая, а не притягивающая сила. Магнитное поле дополнительного магнита, взаимодействуя с внешним полем рассеяния основного магнита, уменьшает его. При этом происходит увеличение полезного использования энергии основного магнита за счет концентрации магнитных силовых линий внутри магнитной системы, т. е. в рабочем зазоре. Таким способом можно увеличить магнитную индукцию в рабочем зазоре на 10—25% в зависимости от конструкции магнитной системы громкоговорителя. Среднее стандартное звуковое давление громкоговорителя повышается пропорционально увеличению магнитной индукции в рабочем зазоре магнитной системы, а частотная характеристика не изменяет своего характера. Повысить таким способом звуковое давление громкоговорителей с экранированными магнитными системами (рис. 33, 35) невозможно, поскольку внешнее поле рассеяния у них практически отсутствует.

Уменьшить неравномерность частотной характеристики громкоговорителей можно путем промазывания гофрированных подвесов их диффузоров демпфирующими смазками. Отметим, что это относится лишь к тем типам громкоговорителей, у которых такое промазывание не предусмотрено технологическим процессом при их изготовлении. Для промазывания применяются резличные и сложные по составу смазки на основе резиноподобных веществ, например полиизобутилена и т. п., однако удовлетворительные результаты можно получить также при применении 50—70%-ного раствора касторового масла в ацетоне. Такая смазка наносится мягкой кистью на гофрированный подвес диффузора в небольшом количестве, чтобы не до-

пустить значительного пропитывания конической части диффузора. Указанная смазка уменьшает величину неравномерности частотных характеристик громкоговорителей на 2—5 *дб.* При этом остальные параметры громкоговорителя остаются практически без изменений. Отметим, что работы, связанные с промазыванием деталей подвижных систем громкоговорителей, следует выполнять при вставленной в зазор между звуковой катушкой и керном магнитной системы специальной оправке, которую можно заменить свернутой в кольцо лентой из бумаги или кинопленки. Если звуковая катушка громкоговорителя закрыта со стороны диффузора защитным колпачком, то его предварительно следует отклеить, смочив ацетоном.

Следует иметь в виду, что конструкции электродинамических громкоговорителей из-за наличия в них деталей, изготовленных из бумажной массы и ткани, требуют весьма осторожного обращения и все работы, связанные с изменением параметров громкоговорителей, могут выполняться только достаточно подготовленными людьми.

Таблица параметров распространенных зарубежных громкоговорителей и их отечественных аналогов

Страна, фирма	Размеры, *мм*	Номинальная мощность $P_{ном}$, *ва*	Номинальный диапазон воспроизводимых частот $f_н—f_в$, *гц*	Неравномерность частотной характеристики N, *дб*	Среднее стандартное звуковое давление $p_{ср.ст}$, *н/м²*	Модуль полного электрического сопротивления $\lvert Z_{1000}\rvert$, *ом*	Отечественные аналоги
Япония, Toshiba	⌀57	0,2	450—3 150	15	0,2	8	0,1ГД-3М; 0,1ГД-6
Венгрия, Videoton	⌀65	0,1	450—3 150	15	0,25	20	0,1ГД-12*; 0,25ГД-10
Япония, Sharp	⌀77	0,7	250—5 000	10	0,2	10	0,5ГД-21; 0,25ГД-1
Англия, Plessy	⌀105	1,0	125—3 150	15	0,2	3	0,5ГД-10*, 0,5ГД-12*
Япония, Hitachi	90×66	0,3	250—5 000	15	0,25	8	0,5ГД-17
США, Philco	128×78	1,0	125—7 100	15	0,15	3	0,5ГД-30*
США, Motorolla	130×78	1,0	100—10 000	15	0,2	3	0,5ГД-30*
Франция, Audax	254×70	2,0	130—6 000	15	0,2	—	2ГД-22
Чехославакия, Tesla	280×80	2,0	100—15 000	12	0,15	6	2ГД-22
Голландия, Philips	152×102	1,0	100—10 000	15	0,25	8	1ГД-4; 1ГД-28
США, Zenith	156×104	1,0	125—7 100	10	0,3	8	1ГД-28; 1ГД-40
Венгрия, Videoton	150×100	4,0	150—10 000	10	0,25	8	1ГД-36; 1ГД-37
Чехославакия, Tesla	⌀165	2,0	80—12 500	15	0,15	—	2ГД-19М; 2ГД-35
Япония, Hitachi	⌀116	3,5	125—8 000	15	0,3	8	4ГД-8*
Япония, National	⌀120	3,5	125—8 000	15	0,2	8	4ГД-8*
Венгрия, Videoton	⌀132	4,0	125—10 000	15	0,2	4	4ГД-8
Венгрия, Videoton	⌀205	6,0	63—16 000	15	0,25	8	4ГД-7; 4ГД-28*
Венгрия, Videoton	⌀265	10,0	63—14 000	—	0,35	—	6ГД-2
Венгрия, Videoton	180×120	5,0	100—10 000	12	0,15	8	4ГД-9*
Венгрия, Videoton	232×156	6,0	—	10	0,35	5	6ГД-4

* Указанные типы отечественных громкоговорителей могут применяться взамен соответствующих зарубежных только при условии перемотки согласующего (выходного) трансформатора РЭА.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Аваков Р. А., Жданов И. М., Подвидз М. М., Шилов О. С.** Основы телефонии и теории телефонных сообщений. М., «Связь», 1969.

2. Автоматическая коммутация и телефония. Под ред. Метельского Г. Б. Часть 1. Основы телефонии и автоматической коммутации. М., «Связь», 1968.

3. **Бабуркин В. Н., Гензель Г. С., Павлов Н. Н.** Электроакустика и радиовещание. М., «Связь», 1967.

4. **Балакин А. С., Метлин Г. М., Яхнис Л. Н.** Связь на промышленных предприятиях. М., «Связь», 1966.

5. **Гендин Г. С.** Высококачественное звуковое произведение. М., «Энергия», 1970.

6. **Дольник А. Г.** Громкоговорители. М., «Энергия», 1958.

7. **Дольник А. Г., Эфрусси М. И.** Высококачественные акустические системы. М., Изд-во ДОСААФ, 1960.

8. **Дрейзен И. Г.** Электроакустика и звуковое вещание. М., «Связь», 1961.

9. **Иофе В. К.** Электроакустика. М., «Связь», 1954.

10. **Кюне Ф.** Аппаратура высококачественного звучания. Пер. с нем. М., «Энергия», 1965.

11. **Паулин З.** Чудеса звука. Пер. с чешского. М., «Энергия», 1965.

12. **Фельдкеллер Р., Цвикер Э.** Ухо как приемник информации. Пер. с нем. М., «Связь», 1965.

13. **Финклер И. Е.** Электроакустические характеристики телефонного тракта. М., «Связь», 1961.

14. **Фурдуев В. В.** Акустические основы вещания. М., «Связь», 1960.

15. **Шифман Д. Х.** Громкоговорители. М., «Энергия», 1965.

16. **Эфрусси М. М.** Акустическое оформление громкоговорителей. М., «Энергия», 1962.

17. ГОСТ 16122-70. Методы электроакустических испытаний и измерений громкоговорителей.

18. ГОСТ 9010-67. Громкоговорители электродинамические.

19. ГОСТ 11515-65. Тракты радиовещательные. Основные качественные показатели.

20. ГОСТ 12090-66. Частоты для акустических измерений. Предпочтительный ряд.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Цена 20 коп.